

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

Сборник научных статей

№6 2011

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Казань

2011

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. № 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – 267 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.

В сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы сборника будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60
ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.К. Половняк д.х.н. КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Pd(IV) С ФОСФИНАМИ 9

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.В. Болдырев к.т.н., С.В. Болдырев, В.Л. Мулюкин, С.И. Харчук к.ф.-м.н., С.С. Харчук* ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ ОТ РАЗМЕРОВ ВХОДНОЙ ДОБАВЛЕННОЙ ОБЛАСТИ 22
- А.А.Большаков, А.Ю.Большаков к.ф.-м.н., Е.Б.Пименова* ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ШТАМП НА ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ 26
- Ал.Ф. Гайсин, А.З. Гумеров к.т.н., Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов* ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДАМИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ И ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ 29
- Х.Ш. Джурсаев* РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ 33
- А.А. Илюхин д.ф.-м.н., А.К. Попов* РАСТЯЖЕНИЕ МИКРОПОЛЯРНОГО ЕСТЕСТВЕННО ЗАКРУЧЕННОГО СТЕРЖНЯ 37
- А.А. Илюхин д.ф.-м.н., С.А. Шретер* ПОВЕДЕНИЕ ПЛАСТИНКИ НА УПРУГОМ СТЕРЖНЕ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОТОКЕ 43
- А.А. Лопатин к.т.н.* ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЕЗНЫХ РЕБЕР В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУШНЫХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ 47
- Е.С. Мясникова* ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕЛИНЕЙНО И ЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО ОСНОВАНИЯ 51

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.Н. Авдащенко, С.В. Кузнецов к.х.н.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДСОРБЦИИ КАТИОНОВ КАЛЬЦИЯ И ФОСФАТ-АНИОНОВ НА ТОЧКУ НУЛЕВОГО ЗАРЯДА ДИОКСИДА ТИТАНА 55
- Е.В. Гусева к.х.н., В.К. Половняк д.х.н., А.В. Потапова* ВЛИЯНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОГО КОМПЛЕКСА РОДИЯ(III) С Р-ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМ КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНОМ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНО-РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И ВИНИЛАЦЕТАТА 60
- С.В. Дворяк, Р.А. Гарифуллин, П.А. Катасонов, Г.В. Маврин к.х.н., Д.А. Харлямов, Ю.И. Шакиров к.т.н.* СОРБЦИЯ ИОНОВ ТРЕХВАЛЕНТНОГО МЫШЬЯКА ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МАГНЕТИТА 68
- Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, У.М. Малага, А.К. Молодкин, М.В. Тачаев, В.Е. Шаповалова* КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ РОДИЯ (III) С ГИПОКСАНТИНОМ И АДЕНИНОМ 71
- Кинду М.Ф.А.* СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЗЭ (III) С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ И САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ 76
- А.М. Юровский* НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДНЫХ СУЛЬФОКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ АРОМАТИЧЕСКОГО РЯДА С ДИАЗОМЕТАНОМ 80

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>В.В. Андреев д.т.н., М.В. Козлов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, НАГРУЖЕННОЙ ДАВЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS	86
<i>В.В. Андреев к.т.н., Е.В. Тесленко</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САД СИСТЕМАХ	90
<i>В.В. Андреев д.т.н., А.В. Дуцев к.т.н., М.В. Турченко</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ КАНАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	93
<i>А.А. Антонникова, О.Б. Кудряшова к.ф.-м.н., М.В. Хмелев, А.В. Шалунов к.т.н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ	96
<i>В.Ф. Беккер к.т.н.</i> ВЫБОР ФОРМЫ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАСАДОЧНЫХ ТЕЛ В АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ	100
<i>О.В. Блажнова, Д.Г. Портнягин, Ю.В. Селиванов к.т.н.</i> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОГО ШЛАКА ТЭЦ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА	103
<i>А.В. Богданов</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМ КОТЛОМ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО ЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА	108
<i>И.М. Букарев, А.В. Жданов к.т.н.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ	116
<i>А.Ю. Власенко, Н.Н. Окулов</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОРРЕКТНОСТИ И ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КАК КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПОРТАЛА	120
<i>В.И. Воловач к.т.н.</i> ДОСТОВЕРНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДАТЧИКАМИ ТУРНИКЕТНОГО ТИПА БЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ С НЕКОГЕРЕНТНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ	124
<i>В.И. Воловач к.т.н., Е.В. Гурина</i> НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОХРАННЫХ СИСТЕМ	129
<i>А.В. Ганичев</i> ОПТИМАЛЬНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ РАССТОЯНИЯ	133
<i>Г.М. Гончаров д.т.н., И.С. Гуданов к.т.н., А.А. Ломов д.т.н.</i> О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАХОДНОЙ ЗОНЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛОВ НА КАЧЕСТВО АГРЕГИРОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ	137
<i>К.Л. Горикова, А.Р. Садыков, А.Р. Якупов</i> УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ СКВАЖИННЫХ ТЕРМОМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ	142
<i>А.С. Григоров</i> ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В SQL-ЗАПРОСАХ К БАЗАМ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАПРОСОВ	146
<i>Н.Н. Дацун, Г.П. Жигулин, О.Ю. Королева, М.М. Несвит</i> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ УЯЗВИМОСТЕЙ, ВКЛЮЧАЯ НДВ	152
<i>А.П. Денисова д.т.н., Т.А. Емельянова</i> АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ МНОГОСЛОЙНОЙ СТЕНЫ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ	156
<i>Л.С. Диньмухаметова, Е.В. Пояркова к.т.н.</i> ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ	160

<i>А.С. Жив д.т.н., Б.Р. Исакулов к.т.н.</i> ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА	164
<i>С.М. Зраенко к.т.н.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЦЕЛИ В РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ	168
<i>А.В. Ионов, Л.Л. Картовицкий к.т.н., Е.Ю. Марчуков д.т.н., В.В. Терентьев, А.А. Яковлев к.т.н.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ПЛОСКОЙ РЕШЕТКИ С ТЛЖТ-РЕЛЬЕФОМ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	172
<i>Б.Р. Исакулов к.т.н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ	177
<i>С.В. Князев</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТАНОВОК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ЛИНИИ РАСКАТКИ ПОДШИПНИКОВЫХ КОЛЕЦ	181
<i>А.В. Колесников</i> РАСЧЕТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ	186
<i>О.С. Лехов д.т.н., Е.Ю. Раскатов к.т.н.</i> МНОГОУРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ БЕСШОВНЫХ ТРУБ	192
<i>О.С. Лехов д.т.н., Е.Ю. Раскатов к.т.н., Д.А. Соловьев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В МГНОВЕННОМ ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ПИЛИГРИМОВЫХ СТАНОВ	196
<i>О.С. Лехов д.т.н., Е.Ю. Раскатов к.т.н., В.В. Турлаев к.т.н.</i> ОЦЕНКА ОБЪЁМНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ	200
<i>Д.С. Лобарёв</i> ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ ИГРЕ N ЛИЦ С ВЕКТОРНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ВЫИГРЫША	205
<i>А.В. Логинов, В.И. Мельников д.т.н., А.Н. Соколов, Д.И. Шмелев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДВУХФАЗНОГО ВОДОВОЗДУШНОГО ПОТОКА	209
<i>А.В. Медведев д.ф.-м.н., П.Н. Победаш к.ф.-м.н.</i> АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ «ПРОИЗВОДИТЕЛЬ – НАЛОГОВЫЙ ЦЕНТР»	213
<i>В.Ю. Мельцов к.т.н., Г.А. Чистяков</i> РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРЫ КРИПКЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ	217
<i>В.В. Морозов д.т.н.</i> МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ АВТОКОЛЕБАНИЙ	221
<i>Ю.А. Новиков</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЛИНИСТОГО ОСНОВАНИЯ, УСИЛЕННОГО ПЕСЧАНЫМ АРМИРОВАННЫМ МАССИВОМ	225
<i>Е.А. Новикова к.т.н.</i> СИНТЕЗ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПО КРИТЕРИЯМ ПЛАВНОСТИ	230
<i>А.П. Осипов к.т.н.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	234
<i>А.Е. Rogozin</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕ ПО ЗАНЯТЫМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ КАНАЛАМ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ	238
АННОТАЦИИ	244

THE RELEASE MAINTENANCE

V.K. Polovnyak COORDINATION COMPOUNDS OF PD(IV) WITH PHOSPHINES 9

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

- A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev, V.L. Mulyukin, S.I. Kharchuk, S.S. Kharchuk PROVIDING OF ADDITIONAL INLET REGION SIZE'S independence OF SEPARATED FLOW'S NUMERICAL SOLUTION 22
- A.A. Bolshakov, A.Ju. Bolshakov, E.B. Pimenova A RECTANGULAR STAMP ON A TWO-PARAMETER ELASTIC BASE 26
- Al.F. Gaysin, A.Z. Gumerov, R.T. Nasibullin, L.R. Sarimov THE RESEARCH OF THE OSCILLATIONS OF CURRENTS OF ELECTRICAL DISCHARGE BETWEEN THE METALLIC AND THE ELECTROLYTIC ELECTRODES AT ATMOSPHERIC AND THE LOWERED PRESSURE 29
- Kh.Sh. Dzhuraev REGULARIZATION OF BOUNDARY PROBLEMS FOR THE HYPERBOLIC EQUATION 33
- A.A. Ilyukhin, A.K. Popov STRETCHING OF THE MICROPOLAR NATURALLY TWIRLED CORE 37
- A.A. Ilyukhin, S.A. Shreter BEHAVIOUR OF THE PLATE ON THE ELASTIC CORE IN THE AERODYNAMIC STREAM 43
- A.A. Lopatin USING THE CUTTING EDGES AS THE MAIN ELEMENTS OF THE AIR SYSTEMS COOLING OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT 47
- E.S. Myasnikova LINEAR AND NONLINEAR FOUNDATION RELIABILITY 51

CHEMICAL SCIENSEC

- V.N. Avdashenko, S.V. Kuznetsov INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADSORPTION CALCIUM CATIONS AND PHOSPHATE ANIONS ON THE POINT OF ZERO CHARGE OF TITANIUM DIOXIDE 55
- E.V. Guseva, V.K. Polovnyak, A.V. Potapova EFFECT OF SUPERMOLECULAR COMPLEXES OF RHODIUM (III) WITH P-FUNCTIONALIZED CALIX [4] RESORCINE ON THE KINETIC FEATURES OF COMPLEX-RADICAL POLYMERIZATION OF METHYL METHACRYLATE AND VINYL ACETATE 60
- S.V. Dvoryak, R.A. Garifullin, P.A. Katasonov, G.V. Mavrin, D.A. Kharlyamov, I.U. Shakirov ARSENIC TRIVELANT IONS ADSORPTION IN AQUEOUS SOLUTIONS USING SPHERICAL SYNTHETIC MAGNETITE PARTICLES 68
- N.Y. Esina, M.N. Kurasova, W.M. Malaga, A.K. Molodkin, M.V. Tachaev, V.E. Shapovalova COMPLEX FORMATION OF RODIUM (III) WITH HYPOXANTHINE AND ADENINE. 71
- Kindu M.F.A. SYNTHESSES AND STUDY OF MIXED – LIGAND COMPLEXES OF RARE EARTH (III) WITH 1,10-PHENANTHROLINE AND SALICYLIC ACID. " 76
- A.M. Yurovskiy SOME FEATURES OF INTERACTION OF DERIVATIVES OF SULPHOCARBOXYLIC ACIDS OF AROMATIC SERIES WITH DIAZOMETHANE 80

ENGINEERING SCIENCE

- V.V. Andreev, M.V. Kozlov STRESSTESTINGOFHEATTRANSFER AREA BY ANSYS SOFTWARE 86
- V.V. Andreev, E.V. Teslenko INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM OF TECHNOLOGICAL DESIGNING IN CAD SYSTEMS 90

<i>V.V. Andreev, A.V. Duntsev, M.V. Turchenko</i> DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF HYDRAULIC FRICTION WITH THE NATURAL CIRCULATION OF LIQUID IN A CLOSED CHANNEL WITH THE HELP OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS	93
<i>A.A. Antonnikova, O.B. Kudryashova, M.V. Khmelev, A.V. Shalunov</i> DEVELOPMENT OF THE ULTRASONIC OSCILLATOR FOR SEDIMENTATION OF AEROSOLS	96
<i>V.F. Bekker</i> CHOICE-SHAPED EXTERIOR SURFACE PACKED BODIES IN THE APPLIANCE WITH ROTATING SLIDING NOZZLE	100
<i>O.V. Blazhnova, D.G. Portnyagin, Yu.V. Selivanov</i> ESTIMATION OF POSSIBILITIES TO USE HIGH CALCIUM SLAG OF HEAT ELECTROPOWER STATION FOR OBTAINING FOAM CRYSTAL MATERIALS USING ENERGY EFFECTIVE TECHNOLOGY	103
<i>A.V. Bogdanov</i> SYSTEM OF STEAM BOILERS BASED ON THE MULTIDIMENSIONAL WELL-UNDERSTOOD REGULATOR	108
<i>I.M. Bukarev, A.V. Zhdanov</i> EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MULTILAYER NANOSTRUCTURED COATINGS	116
<i>A.U. Vlasenko, N.N. Okulov</i> SYSTEM OF AUTOMATED CORRECTNESS CONTROL AND VIRTUAL LABORATORY AS COMPONENTS OF INFORMATIONAL AND CALCULATING PORTAL	120
<i>V.I. Volovach</i> RELIABILITY OF DETECTION OF OBJECTS GAUGES THE TURNSTILE OF TYPE WITHOUT TRANSFORMATION OF FREQUENCY WITH NOT COHERENT RECEIVERS	124
<i>V.I. Volovach, E.V. Gurina</i> SOME FEATURES OF OPTIMUM PROCESSING OF SIGNALS OF RADIO ENGINEERING DEVICES OF DETECTION OF SPATIAL SECURITY SYSTEMS	129
<i>A.V. Ganichev</i> OPTIMALITY OF CLASSIFICATION OF IMAGES BY MEANS OF FUNCTIONS OF DISTANCE	133
<i>G.M. Goncharov, I.S. Gudanov, A.A. Lomov</i> ABOUT INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE INITIAL ZONE OF CYLINDRICAL CHANNELS ON QUALITY OF THE AGGREGATED PROFILES	137
<i>K.L. Gorshkova, A.R. Sadykov, A.R. Ykupov</i> WELL THERMOMETER TEST SET WITH USAGE OF FUZZY LOGIC	142
<i>A.S. Grigorov</i> DETECTION OF ANOMALIES IN SQL- REQUEST TO DATABASES ON THE BASIS OF THE ESTIMATION OF INTERNAL STRUCTURE OF RESULTS OF PERFORMANCE OF INQUIRIES	146
<i>N.N. Dacun, G.P. Zhigulin, O.Yu. Koroleva, M.M. Nesvit</i> METHODS OF THE ESTIMATION OF SECURITY OF INFORMATION SYSTEMS FROM VULNERABILITY, INCLUDING NDV	152
<i>A.P. Denisova, T.A. Emeljanova</i> THE ALGORITHM OF CALCULATION OF MULTILAYER WALL CONSTRUCTION OF FEW-STORIED BUILDINGS	156
<i>L.S. Dinmuchametova, E.V. Poyarkova</i> INFLUENCE OF MECHANICAL HETEROGENEITY ON LIMITING BEARING ABILITY OF WELDED CONNECTIONS FROM STEELS OF THE RAISED DURABILITY	160
<i>A.S. Zhiv, B.R. Isakulov</i> PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS BASED ON INDUSTRIAL WASTE AND LOCAL RAW MATERIAL RESOURCES OF KAZAKHSTAN	164
<i>S.M. Zraenko</i> SINGULARITIES OF IMAGE GENERATION OF THE DISTRIBUTED TARGET IN THE SYNTHETIC APERTURE RADAR	168
<i>A.V. Ionov, L.L. Kartovitskiy, E.Y. Machukov, V.V. Terentev, A. A. Yakovlev</i> MODERN APPROACHES TO MANUFACTURING TECHNOLOGY BLADES FLAT BARS WITH TLJT-TERRAIN TO CONDUCT PILOT STUDIES	172
<i>B.R. Isakulov</i> RESEARCH OF PROPERTIES DROSSALKALINE OF THE KNITTING	177

<i>S.V. Knyazev</i> ENERGY EFFICIENT RUN MODES OF INDUCTION HEATING UNITS IN BEARING RING ROLLING LINE	181
<i>A.V. Kolesnikov</i> CALCULATION OF BUILDINGS IN SEISMIC EFFECTS INCLUDING NONLINEAR EFFECTS	186
<i>O.S. Lehov, E.U. Raskatov</i> A MULTI-LEVEL OPTIMIZATION OF THE HOT PILGER ROLLING MILL	192
<i>O.S. Lehov, E.U. Raskatov, D.A. Solovyev</i> STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE IN AN INSTANT THE DEFORMATION IN ORDER TO CHOOSE A RATIONAL CALIBRATION ROLL PILGRIM MILL	196
<i>O.S. Lehov, E.U. Raskatov, V.V. Turlaev</i> VALERIJ ASSESSMENT OF 3D-MODEL OF THE PROCESS OF HOT ROLLING OF PILGRIM PIPES	200
<i>D.S. Lobaryov</i> EXPERT ESTIMATIONS IN DIFFERENTIAL LINEAR-QUADRATIC N PERSON GAME WITH VECTOR PAYOFF FUNCTIONS	205
<i>A.V. Loginov, V.I. Melnikov, A.N. Sokolov, D.I. Shmelev</i> EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCHES OF A TWO-PHASE WATER-AIR FLOW	209
<i>A.V. Medvedev, P.N. Pobedash</i> ASYMPTOTIC ANALYSIS OF EFFECTIVE ECONOMIC DEVELOPMENT MODEL OF THE SYSTEM «PRODUCER – TAX CENTER»	213
<i>V.Y. Meltsov, G.A. Chistyakov</i> DEVELOPMENT MODULES FOR BUILDING KRIPKE STRUCTURE FOR A SYSTEM OF VERIFICATION OF PARALLEL ALGORITHMS	217
<i>V.V. Morozov</i> MECHATRONIC MODULES TRANSLATION MOVEMENT COMPENSATION OSCILLATIONS	221
<i>Yu.A. Novikov</i> RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN CONDITION CLAY SOIL REINFORCED WITH SANDY PILE	225
<i>E.A. Novikova</i> SYNTHESIS OF MECHATRONIC UNITS BY CRITERIA OF SMOOTHNESS	230
<i>A.P. Osipov</i> THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ABRASIVE TOOL CHARACTERISTICS ON TOOL SURFACE PARAMETERS	234
<i>A.E. Rogozin</i> DEFINITION OF POWER PARITIES BY SIMULTANEOUS TRANSFER ON THE OCCUPIED TELECOMMUNICATION CHANNELS OF THE OFFICE INFORMATION	238

ABSTRACTS	244
------------------	-----

В. К. Половняк д.х.н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет
Россия, г. Казань
vkpol@mail.ru

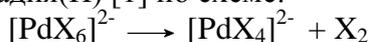
КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Pd(IV) С ФОСФИНАМИ

С использованием в качестве окислителя газообразного хлора методом твердофазного окисления синтезированы комплексы палладия(IV) с замещенными арилфосфинами, установлено их строение, реакционная способность и каталитическая активность в реакции карбалкокислирования ацетилена.

Ключевые слова: палладий, арилфосфины, комплексы, катализ.

Степень окисления +4 не является характерной для палладия, и потому координационные соединения Pd(IV) распространены значительно меньше, нежели координационные соединения Pd(II). В литературе имеются достаточно много сведений о термографических, электрохимических, спектрофотометрических и других характеристиках соединений палладия(IV) [1–10]. В твердом виде комплексы палладия(IV) достаточно стабильны, однако, при растворении весьма легко восстанавливаются, чем, собственно, и можно объяснить относительно небольшое число публикаций, посвященных комплексам Pd(IV) в растворах.

Наиболее известными среди соединений палладия(IV) являются галогенокомплексы $M_2[PdX_6]$, где $M = K^+, Rb^+, Cs^+, NH_4^+$; $X = F^-, Cl^-$ или Br^- [11]. Хлоро- и бромопалладаты (IV) при незначительном нагревании разлагаются с образованием соответствующих соединений палладия(II) [1] по схеме:



Эти комплексы являются довольно сильными окислителями [значения стандартного электродного потенциала E^0 для редокс- пары $[PdX_6]^{2-} / [PdX_4]^{2-}$ составляют + 1.28 В (Cl) и + 0.99 В (Br)].

Все они диамагнитны, что вполне типично для шестикоординационных комплексов с электронной конфигурацией комплексообразователя d^6 . Помимо галогенокомплексов для Pd(IV) в настоящее время известны также гидроксокомплексы [12–14], цианокомплексы [15,16], аминокомплексы и координационные соединения с некоторыми другими лигандами.

По характеру относительного вклада $4d$ -электронов в молекулярные орбитали соответствующих комплексов Пещевицким [17] был сделан вывод, что с ростом степени окисления центрального атома доля ковалентной составляющей металл – лиганд возрастает. Из этого следует, что в этом же направлении увеличивается и π -перенос электронов с лиганда на Pd. Следовательно, при высокой поляризуемости несвязывающей электронной пары донорного атома лиганда становится весьма вероятным процесс восстановления :



В связи с этим обстоятельством можно ожидать, что получение комплексов палладия(IV) с элементарноорганическими лигандами окажется весьма непростой задачей [18]. И действительно, комплексы Pd(IV) с подобными лигандами в настоящее время представлены лишь соединениями фосфора, комплексы же палладия(IV) с аналогичными мышьяк(III)- и сурьма(III)-органическими соединениями до сих пор неизвестны. Впрочем, шансы на осуществление синтеза координационных соединений Pd(IV) с такими лигандами довольно-таки малы еще и по причине высокой поляризуемости донорной электронной пары атомов

мышьяка(III) и сурьмы(III) [18]. В связи с этими обстоятельствами разговор пойдет исключительно о комплексах Pd(IV) с фосфор(III)содержащими органическими лигандами.

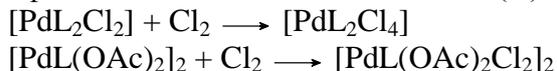
1. Синтез арилфосфиновых комплексов палладия(IV)

Большинство комплексов Pd(IV) с фосфор(III)органическими лигандами было синтезировано путем окислительного присоединения молекул галогенов к соответствующим комплексам Pd(II) [19,24]. Следует отметить, что наличие какого бы то ни было растворителя в реакционной системе в большинстве случаев не благоприятствует указанному процессу.

В качестве примера можно привести работу [19], в которой описан синтез комплексов Pd(IV) с монодентатными фосфинами нейтрального ($[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{Cl}_4]$) и анионного ($[\text{NR}_4][\text{Pd}(\text{L1})\text{X}_5]$) типов, где R – алкил, X – Cl, Br; L1 – PPh₃ или PMe₂Ph. В частности, соединения $[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{Cl}_4]$ образуются при окислении фосфиновых производных Pd(II) $[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{Cl}_2]$ хлором в тетрахлорметановом растворе. Процесс весьма критичен по отношению к условиям эксперимента и целевой продукт [комплекс Pd(IV)] удается получить лишь при тщательном их соблюдении; в противном случае (например, при избытке хлора) образуются маслообразные продукты неопределенного состава. По мнению авторов [19] здесь имеет место распад комплекса до $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ и трифенилфосфиноксида Ph₃P=O. Бромные аналоги соединений палладия(IV) $[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{Cl}_4]$ получить до сих пор не удалось. На основании картины ИК-спектров комплексам $[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{Cl}_4]$ приписана *транс*-конфигурация ($\nu_{\text{Pd-Cl}} = 335 \text{ см}^{-1}$).

Комплексы палладия(IV) с дифосфинами синтезировать легче, чем с монофосфинами. Так, в [20] окислением производных палладия(II) состава $[\text{Pd}(\text{L2})_2](\text{ClO}_4)_2$ азотной кислотой в присутствии хлорид-ионов было получено координационное соединение $[\text{Pd}(\text{L2})_2\text{X}_2](\text{ClO}_4)_2$ (L = Ph₂PCH₂PPh₂, X = Cl, Br).

В [18] для синтеза комплексов Pd(IV) $[\text{PdL}(\text{OAc})_2\text{Cl}_2]_2$ был использован метод твердофазного окисления комплексов Pd(II) сухим газообразным хлором по реакциям:



при температуре 25 °С. Оптимальное время хлорирования, необходимое для полного перехода исходных комплексов палладия(II) в комплексы палладия(IV) составляет 6–8 ч.

Приведенные выше комплексы представляют собой кристаллические вещества темно-красного цвета, устойчивые на воздухе, с температурами плавления в диапазоне 50–90 °С. Они хорошо растворимы во многих органических растворителях (хлороформе, ацетонитриле, ацетоне, диметилформаиде и др.). Выход этих соединений Pd(IV) при синтезе оказался очень высоким (около 98% от теоретического). Данные на этот счет представлены в *Таблице 1.1*. Характерно, что координация любого из фосфор(III)органических лигандов к комплексообразователю в процессе окисления исходных комплексов Pd(II) в комплексы Pd(IV) сохраняется неизменной, подтверждением чего являются полосы поглощения для комплексов палладия(IV) при 500 – 950 см⁻¹, которые на 5 – 35 см⁻¹ смещены в коротковолновую область относительно полос поглощения свободного фосфинового лиганда [18]. При этом хлорарилфосфиновые комплексы палладия(IV) мономерны и отвечают формуле $[\text{PdL}_2\text{Cl}_4]$, тогда как хлороацетатоарилфосфиновые комплексы имеют димерное строение и отвечают формуле $[\text{Pd}(\text{OAc})_2\text{Cl}_2]_2$ [18].

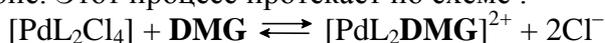
Таблица 1.1.

Выход при синтезе и некоторые свойства комплексов Pd(IV) с фосфор(III) органическими лигандами.

Соединение	Выход, %	Цвет	$t_{пл}^*$, °C
[Pd(PPh ₃) ₂ Cl ₄]	98	Красный	58
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ Cl ₄]	97	Красный	65
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ Cl) ₂ Cl ₄]	98	Красный	45
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ CH ₃) ₂ Cl ₄]	98	Красный	59
[Pd(Ph ₂ P(C ₆ H ₄ OCH ₃) ₂) ₂ Cl ₄]	96	Красный	59
[Pd(PPh ₃)(CH ₃ COO) ₂ Cl ₂] ₂	99	Красный	90
[Pd(PPh ₃)(CF ₃ COO) ₂ Cl ₂] ₂	97	Красный	99

Попытки синтезировать комплексы Pd(IV) с алкилфосфинами, арил- и алкилфосфитами не увенчались успехом. При хлорировании исходных металлокомплексов Pd(II) происходило лишь разрушение этих комплексов и окисление элементарорганических лигандов указанных типов [18].

Одним из возможных путей синтеза металлокомплексов Pd(IV) являются реакции обмена лигандов [25,26]. В литературе описано замещение Cl⁻ на Br⁻, однако попытки замещения Cl⁻ на какой-либо нейтральный фосфор(III)органический лиганд нередко приводят к восстановлению соединений Pd(IV) до соединений Pd(II) [17,27,28]. Тем не менее в [18] удалось зарегистрировать и количественно охарактеризовать методом «остановленной струи» в сочетании со спектрофотометрией нуклеофильное замещение Cl⁻ в нескольких комплексах Pd(IV) на σ-донорный бидентатный хелатирующий лиганд – диметилглиоксим в ацетоне. Этот процесс протекает по схеме :



где **DMG** – диметилглиоксим. Константу скорости второго порядка (k_2) процесса, рассчитанные по уравнению Чанса [29], а также энергии активации (E_a), рассчитанные по методу Аррениуса [30], представлены в *Таблице 1.2*.

Таблица 1.2.

Кинетические и активационные параметры реакций замещения Cl⁻ в комплексах Pd(IV) с фосфор(III)органическими лигандами на диметилглиоксим в ацетоне.

Металлокомплекс	$k_2 \cdot 10^{-4}$, л·моль ⁻¹ ·с ⁻¹			E_a , кДж
	278 К	283 К	288 К	
[Pd(PPh ₃) ₂ Cl ₄]	(3.3±0.1)	(4.7±0.2)	(6.8±0.2)	47.5
[Pd(Ph ₂ PPhF) ₂ Cl ₄]	(5.9±0.2)	(1.8±0.1)	(4.3±0.2)	133.0
[Pd(Ph ₂ PPhCl) ₂ Cl ₄]	(1.5±0.1)	(2.4±0.1)	(4.8±0.2)	58.2
[Pd(Ph ₂ PPhCH ₃) ₂ Cl ₄]	(2.0±0.1)	(2.7±0.1)	(3.7±0.2)	34.9
[Pd{Ph ₂ P(PhOCH ₃) ₂ } ₂ Cl ₄]	(1.9±0.1)	(2.7±0.1)	(3.7±0.2)	33.3
[Pd{PhP(PhOCH ₃) ₂ } ₂ Cl ₄]	(2.5±0.1)	(4.4±0.2)	(5.8±0.2)	74.8

Из *Табл. 1.2* достаточно отчетливо видно влияние природы арилфосфина на скорость лигандного обмена в комплексах. По трансактивности изученные арилфосфины располагаются в ряд:



Наиболее устойчивый активированный комплекс, судя по энергии активации процесса, образует лиганд Ph₂PPhF.

Попытки изучения реакции нуклеофильного замещения с лигандами π - и σ -донорного типа Br^- и I^- не позволили получить надежных количественных результатов, поскольку в случае бромид-иона реакция протекает с очень большой скоростью, находящейся за пределами возможности использованного в цитируемой работе метода, а в случае иодид-иона имеет место его окисление Pd(IV) данного лиганда до I_2 .

В целом комплексы палладия(IV) термодинамически устойчивы лишь в том случае, если молекулы лигандов, содержащиеся в их внутренней координационной сфере, являются в достаточной степени поляризуемыми. Это свойство в общем-то характерно для всех элементарноорганических лигандов. При этом арильные производные фосфора(III) за счет π -электронной системы фенильных заместителей при атоме фосфора легко поляризуются и при повышении степени окисления комплексообразователя – палладия его донорно-акцепторное взаимодействие с центральным атомом не нарушается. Этим можно объяснить то обстоятельство, что при жестких условиях окислительного присоединения хлора к арилфосфиновым комплексам Pd(II) координация арилфосфинового лиганда к центральному атому тем не менее сохраняется. В случае же ариларсинов и аристибинов поляризация донорной электронной пары происходит в такой степени, что изменяется состояние и центрального атома, и донорного атома, т.е. происходит окислительно-восстановительное превращение и комплексы палладия(IV) не образуются. Такому превращению в той или иной степени подвержены также алкилфосфины и арилфосфиты, и лишь арилфосфины дают устойчивые соединения палладия (IV).

2.. Состояние комплексов Pd(IV) в растворах и твердой фазе

Согласно [31] для соединений Pd(IV) энергия связи $3d_{5/2}$ электрона атома палладия составляет (340.0 ± 0.3) эВ. По нашим данным [18] энергия связи $3d_{5/2}$ электрона атома палладия для $\text{K}_2[\text{PdCl}_4]$ составляет 338.5 эВ, а для $3d_{5/2}$ электрона – 343.7 эВ.

Энергия связи $2p$ -электронов атомов хлора составляет 187.0 эВ. В РЭ-спектре $\text{K}_2[\text{PdCl}_6]$ наблюдаются два максимума при 338.2 эВ и 340.5 эВ. Характерно, что имеет место изменение спектра во времени – интенсивность сигнала при 338.2 эВ постепенно увеличивается. Судя по всему, под действием рентгеновского излучения происходит восстановление гексахлорпалладата(IV) калия с образованием соответствующего комплекса палладия(II). В спектре $\text{K}_2[\text{PdCl}_6]$ наблюдается два максимума, отвечающих энергии связи $2p$ -электронов хлора при 196.1 и 201.2 эВ, что можно объяснить неравноценным состоянием атомов хлора в аксиальном и экваториальном положениях в ионе $[\text{PdCl}_6]^{2-}$, аналогично неравноценному положению атомов фтора в $[\text{PdF}_6]^{2-}$ [11].

По сравнению с РЭ-спектрами $\text{K}_2[\text{PdCl}_6]$ спектры синтезированных нами хлороарилфосфиновых соединений палладия(IV) имеют более широкую полосу при 339.6 эВ с «плечом» при 338.2 эВ (Рис. 1.1). Повидимому, это связано опять-таки с восстановлением указанного комплекса Pd(IV) под действием рентгеновского излучения. Некоторое различие энергии связи $3d_{5/2}$ электронов (339.6 эВ) хлороарилфосфиновых комплексов палладия(IV) по сравнению с $\text{K}_2[\text{PdCl}_6]$ (340.5 эВ) можно объяснить значительным переносом электронной плотности с фосфорорганического лиганда к атому палладия и понижением эффективного заряда на нем.

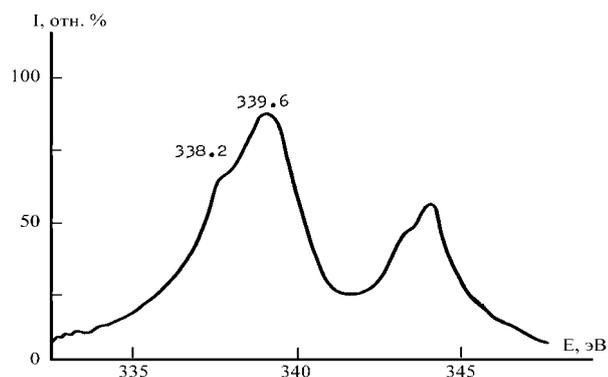


Рис. 1.1. Фрагмент РЭ-спектра комплекса $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$ 6.I.

В РЭ-спектрах хлороацетоарилфосфиновых комплексов отсутствует «плечо», отвечающее образованию соединений палладия(II) (Рис. 1.2). Это дает основание считать, что они более устойчивы к действию рентгеновского излучения, чем хлороарилфосфиновые комплексы.

Энергия связи $2p$ -электронов атомов хлора комплексов $[\text{Pd}(\text{L1})_2\text{Cl}_4]$ составляет 198.6 и 220.5 эВ, что говорит о неэквивалентном положении атомов хлора в координационной сфере атома палладия. Такое различие не наблюдается для хлороацетофосфиновых комплексов: в РЭ-спектре последних имеется лишь один максимум при 200.3 эВ. Из этих данных со всей очевидностью вытекает, что атомы хлора в хлороацетатарилфосфиновых комплексах палладия(IV) занимают именно аксиальное положение, а мостиковые ацетатные группы координированы экваториально.

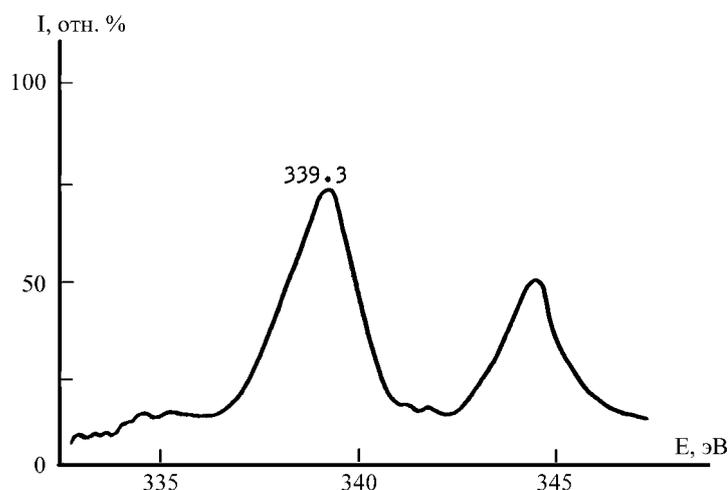


Рис. 1.2. Фрагмент РЭ-спектра комплекса $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cl}_2]$ 2.

То, что степень окисления палладия в поименованных в Табл. 1.1 соединениях действительно равна + 4, подтверждается также методом классической полярографии, а именно по числу электронов, участвующих в электродной реакции.

Электровосстановление комплексов Pd(IV) протекает ступенчато с переходом их вначале в комплексы Pd(II), а затем в комплексы Pd(0). Каждый из таких переходов характеризуется двухэлектронным переносом. В [32] было осуществлено определение числа электронов n , принимающих участие в подобном электродном процессе, с использованием общего уравнения полярографической волны:

$$E = E_{1/2} - \frac{0,059}{n} \lg \frac{i}{i_d - i}$$

где i – сила тока, E – значение потенциала, $E_{1/2}$ – потенциал полуволны, i_d – диффузионный ток, $(0,059/n)$ – коэффициент переноса электрона (α). Котангенс угла наклона прямой в координатах $\lg \frac{i}{i_d - i} - E$ равен соотношению $(0.059/n)$ (α). При $n=2$ коэффициент переноса электрона составляет 29 мВ [33].

На *рис. 1.3* и *1.4* приведены классические полярограммы и ЦВА комплекса $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$, из которых видно, что его электровосстановление осуществляется ступенчато.

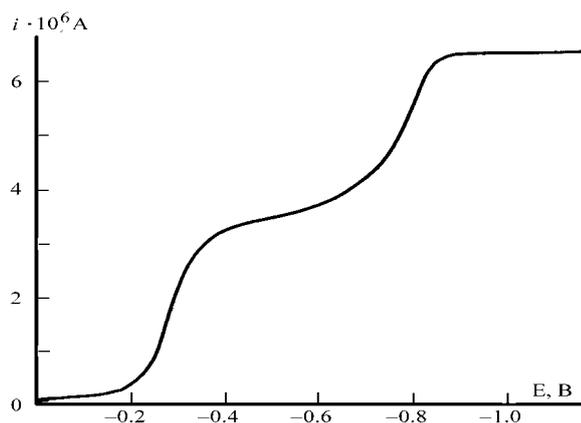


Рис. 1.3. Полярограмма $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$ на ртутном каплющем электроде в диметилформамиде ($C=2.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л, фоновый электролит – 0.1 М раствор NaClO_4).

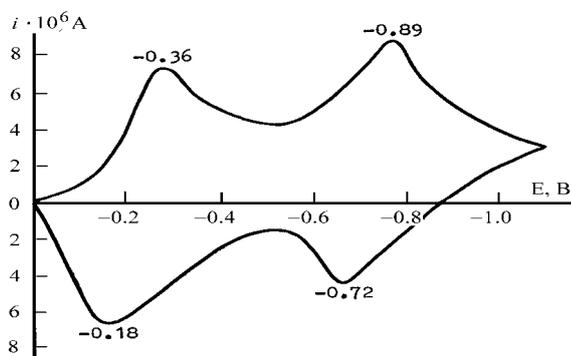


Рис 1.4. ЦВА-грамма $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$ на стационарном ртутном микроэлектроде в диметилформамиде ($C=2.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л, фоновый электролит – 0.1 М раствор NaClO_4).

При этом на ЦВА присутствуют две пары катодно-анодных пиков, и это как раз и означает, что электровосстановление комплексов $\text{Pd}(\text{IV})$ протекает через соединения $\text{Pd}(\text{II})$ до соединений $\text{Pd}(0)$.

В *Таблице 1.3* представлены величины потенциалов полуволн электрохимического восстановления комплексов палладия (IV) с рассматриваемыми лигандами и рассчитанные на основании уравнения значения коэффициента переноса электронов (α).

Таблица 1.3.

**Коэффициенты переноса электронов и потенциалы полуволны электро
восстановления комплексов Pd(IV) в диметилформамиде.**

Концентрация комплексов – $1.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Соединение	Потенциал полуволны $E_{1/2}$, мВ		Коэффициент переноса (α), мВ	
	Ступень 1	Ступень 2	Ступень 1	Ступень 2
[Pd(PPh ₃) ₂ Cl ₄]	- 60	- 720	30	25
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ Cl) ₂ Cl ₄]	- 250	- 770	25	17
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ Cl ₄]	- 280	- 780	27	18
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ CH ₃) ₂ Cl ₄]	- 220	- 780	29	30

Степень окисления палладия + 4 в рассматриваемых комплексах косвенно подтверждается и данными ЯМР–спектроскопии. Сопоставление параметров спектров ЯМР³¹P и ЯМР¹⁹F вышеуказанных комплексов Pd(IV) и тех соединений Pd(II), из которых они были получены [18], свидетельствует о том, что с увеличением степени окисления резонансные линии смещаются в область более слабого поля, а это означает уменьшению электронной плотности на данном атоме. Например, значение химсдвига в ЯМР³¹P-спектре комплекса [Pd(PPh₃)₂Cl₄] составляет + 24.9 м.д., что значительно больше, чем для соответствующего арилфосфинового комплекса Pd(II) (+ 21.85 м.д.) (Рис. 1.5).

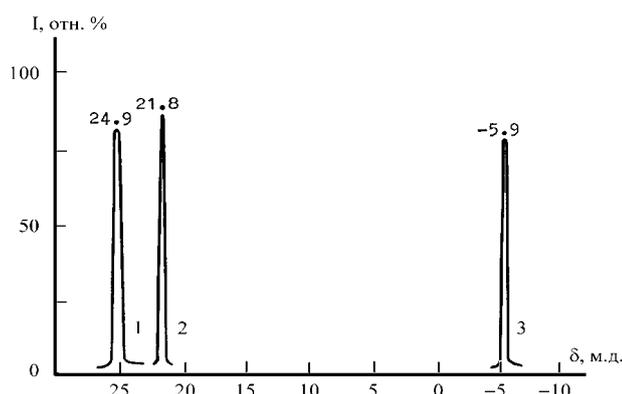


Рис. 1.5. ЯМР³¹P-спектры комплексов [Pd(PPh₃)₂Cl₄] (1), [Pd(PPh₃)₂Cl₂] (2) и трифенилфосфина (3) в хлороформе.

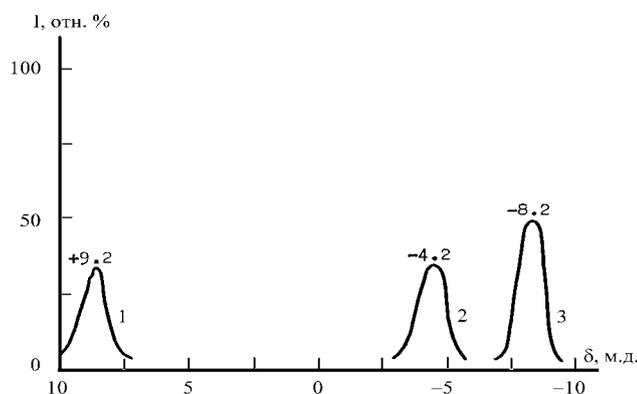


Рис. 1.6. ЯМР¹⁹F –спектры комплексов [Pd(Ph₂PC₆H₄F)₂Cl₄] (1), [[Pd(Ph₂PC₆H₄F)₂Cl₄](2) и Ph₂PC₆H₄F (3) в ацетоне.

Для комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{Cl}_4]$, имеющего «фторную метку» в арилфосфиновом фрагменте, наблюдается весьма существенный сдвиг сигнала в ЯМР¹⁹F (+ 9.2 м.д.) по сравнению с таковым для комплекса $[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{Cl}_2]$ (-4.2 м.д.).

В [18] проведена оценка характера координации ацидо- и фосфор(III)органических лигандов в образуемых ими комплексах Pd(IV) по данным длинноволновой ИК-спектроскопии. Согласно литературным данным [34] частоты валентных колебаний связи Pd–Cl в диапазоне 269–338 см⁻¹ могут служить указанием на *цис*-конфигурацию комплексов палладия(II), в диапазоне же 335–359 см⁻¹ – на *транс*-конфигурацию. Однако, что любопытно, указанные в Табл.1.1 - 1.3 координационные соединения Pd(IV) имеют частоты валентных колебаний как *цис*-, так и *транс*- координированных атомов хлора (Рис. 1.7).

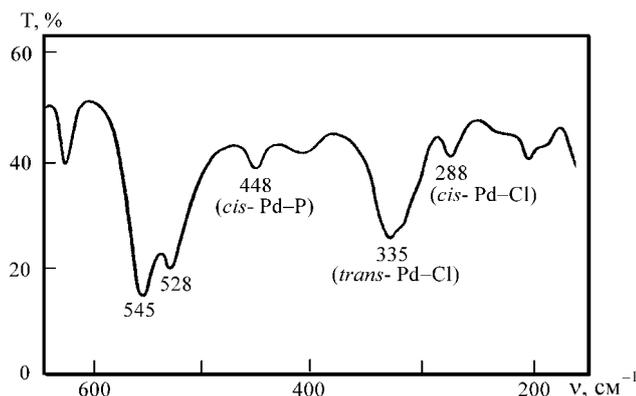
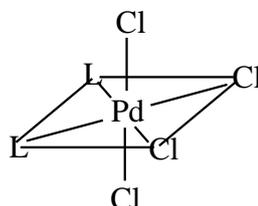


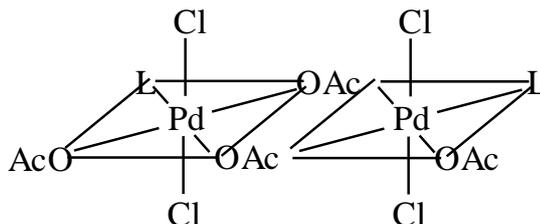
Рис. 1.7. Фрагмент ИК-спектра комплекса $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$ в CsI.

Принимая во внимание КЧ Pd(IV) (6) и псевдо- O_h -симметрию его лигандного окружения, этот факт можно объяснить, допустив наличие одновременно обеих указанных разновидностей атомов хлора:



В таком варианте, как нетрудно заметить, фосфор(III)органические лиганды находятся в *цис*-положении по отношению друг к другу, «экваториальные» атомы хлора также имеют *цис*-ориентацию, а аксиальные – *транс*-ориентацию. Частота 448 см⁻¹ согласно [35] отнесена к ν (Pd–P).

В хлорацетатоарилфосфиновых комплексах Pd(IV) атомы палладия связаны друг с другом через ацетатные группы, свидетельством чему являются полосы поглощения при 1585 и 1430 см⁻¹, характерные для мостиковых CH₃COO-групп [35]. С учетом этого обстоятельства строение хлорацетатоарилфосфиновых комплексов Pd(IV) можно представить следующим образом:



Координационные соединения $[\text{PdL}_2\text{Cl}_4]$ способны к гетеролитической диссоциации по схеме :



В водно-ацетоновой среде молярная электропроводимость подобных комплексов Pd(IV) составляет $260\text{--}280 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$. Такие значения характерны для химических соединений, 1 моль которых при гетеролитической диссоциации дает 3 моля ионов [36]. Количественные характеристики данного процесса для отдельных координационных соединений палладия(IV) с фосфор(III)органическими лигандами в различных неводных растворителях приведены в *Таблице 1.4*.

Таблица 1.4.

Константы устойчивости комплексов Pd(IV) с фосфор(III) органическими лигандами в неводных растворителях при 298 К [37].

Соединение	β	
	В ацетоне	В хлороформе
$[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$	$(5.2 \pm 0.2) \cdot 10^3$	$(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^3$
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{F})_2\text{Cl}_4]$	$(2.4 \pm 0.1) \cdot 10^3$	$(1.9 \pm 0.1) \cdot 10^3$
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{Cl})_2\text{Cl}_4]$	$(1.7 \pm 0.1) \cdot 10^4$	$(1.2 \pm 0.1) \cdot 10^3$
$[\text{Pd}(\text{Ph}_2\text{PC}_6\text{H}_4\text{CH}_3)_2\text{Cl}_4]$	$(1.5 \pm 0.1) \cdot 10^4$	$(0.6 \pm 0.1) \cdot 10^3$
$[\text{Pd}\{\text{PhP}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OCH}_3)_2\}_2\text{Cl}_4]$	$(2.3 \pm 0.1) \cdot 10^3$	$(0.9 \pm 0.1) \cdot 10^3$

В хлороформе указанные в *Таблице 1.4* комплексы Pd(IV) менее устойчивы, нежели в других неводных растворителях [37].

3. Термическая устойчивость комплексов Pd(IV)

При нагревании гетеролигандные комплексы Pd(IV) с фосфор (III)органическими соединениями и галогенидионами во внутренней координационной сфере весьма легко переходят в комплексы Pd(II) с потерей 1 моля галогена [1]. Влияние природы фосфор(III)органических лигандов на термическую устойчивость указанных комплексов рассматривалось в [18], откуда мы и воспроизводим приведенные ниже экспериментальные данные.

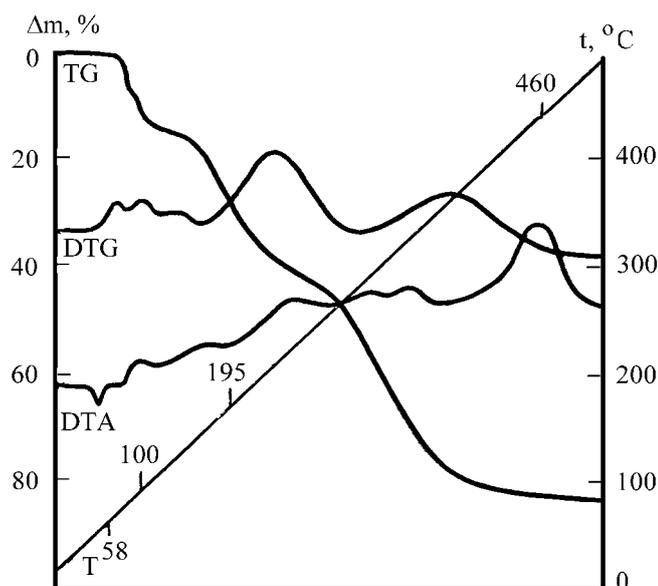


Рис. 1.8. Дериватограмма комплекса $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_4]$.

На *Рис. 1.8* представлена типичная для комплексов указанного выше типа дериватограмма, из которой видно, что их нагревание вначале сопровождается плавлением, а затем – постепенным разложением, в котором отчетливо выделяются три стадии. Первая из них, реализующаяся в интервале 45–200 °С (**I**), характеризуется ступенью на ТГ–кривой и экзотермическим эффектом при 100–130 °С, что отвечает переходу комплексов палладия(IV) в соответствующие комплексы палладия(II) с потерей 1 моля хлора на 1 моль комплекса. На второй стадии, реализующейся при 200–400 °С (**II**), имеет место разрушение находящихся во внутренней координационной сфере фосфор(III)-органических лигандов; на этой же стадии в ИК-спектрах продуктов термолиза постепенно исчезают полосы координированных лигандов. И наконец, третья стадия, которая реализуется в температурном интервале 400–700 °С (**III**), отвечает глубокой деструкции металлокомплексов с образованием в качестве конечного продукта элементного палладия с небольшой (<5%) примесью связанного фосфора (в виде фосфидов палладия). Данные по термолизу отдельных гетеролигандных комплексов Pd(IV) с фосфор(III)-органическими лигандами представлены в *Таблице 1.5*.

Таблица 1.5.

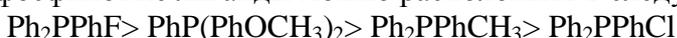
Данные термографического исследования комплексов палладия (IV) типа [Pd(L1)₂Cl₄] [18].

Соединение, стадии процесса термолиза	$\Delta m, \% ^*$		Температура тепловых эффектов на ДТА-кривых, °С **	Продукт термолиза
	по ТГ-кривой	расч.		
1	2	3	4	5
[Pd(PPh ₃) ₂ Cl ₄] I (25–58°C) II (58–115°C) III (115–330°C) IV (330–600°C)	- 11.0 78.0 89.0	- 9.2 77.1 86.2	58(↓), пл 100(↑) - 460(↑)	Pd
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ Cl ₄] I (25–65°C) II (65–215°C) III (215–350°C) IV (350–620°C)	- 10.0 76.0 84.0	- 8.8 78.0 87.8	65(↓), пл 105(↑) - 400(↑)	Pd
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ Cl) ₂ Cl ₄] I (25–45°C) II (45–140°C) III (140–400°C) IV (400–680°C)	- 9.0 80.0 88.0	- 8.4 78.8 87.3	45(↓), пл 85(↑) - -	Pd
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ CH ₃) ₂ Cl ₄] I (25–60°C) II (60–200°C) III (200–400°C) IV (400–680°C)	- 8.0 72.0 82.0	- 8.9 77.8 81.7	60(↓), пл - - 640(↑)	Pd
[Pd{PhP(C ₆ H ₄ OCH ₃) ₂ } ₂ Cl ₄] I (25–62°C) II (62–160°C) III (160–370°C) IV (370–760°C)	- 20.0 62.0 86.0	- - - 88.1	62(↓), пл 130(↑) 240(↑) 700(↑)	Pd

[PdPPh ₃ (CH ₃ COO) ₂ Cl ₂] ₂ I (25–95°C) II (95–240°C) III (240–300°C) IV (300–670°C)	10.0 28.0 76.0	- - 81.0	95(↓), пл 200(↓) - 440(↑), 570(↑)	Pd
[PdPPh ₃ (CF ₃ COO) ₂ Cl ₂] ₂ I (25 - 100°C) II (100 - 230°C) III (230 - 280°C) IV (280 - 660°C)	14.0 38.0 84.0	- - 84,0	100(↓) - - 600(↑)	Pd

* Δm , % – убыль массы в %, ** (↓) – эндоэффект, (↑) – экзоэффект.

По уровню термической устойчивости образуемых ими комплексов палладия(IV) арилфосфиновые лиганды можно расположить в следующий ряд:



Координационные соединения палладия(IV) с фосфор(III)-органическими лигандами проявляют каталитическую активность в реакции карбалкокислирования ацетилена, сопровождающуюся образованием моно- и диэфиров ряда ненасыщенных карбоновых кислот. Хроматографическим методом было установлено образование в данной реакции таких сложных эфиров, как бутилакрилат, дибутилсукцинат, дибутилмалеат и дибутилфумарат. Данные на этот счет представлены в *Таблице 1.6*. Как видно из нее, комплексы палладия(IV) оказываются весьма активными катализаторами в указанной выше реакции карбалкокислирования, причем с весьма высокой селективностью по бутиакрилату, составляющей около 46%. Заметим, что данные величины каталитической активности вполне соизмеримы с таковыми для аналогичных по лигандному окружению координационных соединений палладия(II).

Таблица 1.6.

Скорость образования продуктов карбалкокислирования ацетилена при использовании в качестве катализатора комплексов палладия(IV) с фосфор(III)-органическими лигандами. T= 323 К.

	Скорость образования продуктов реакции, моль/л·ч	
	v_1^*	v_2^{**}
[Pd(Ph ₂ PC ₆ H ₄ F) ₂ Cl ₄]	0.047	0.055
[Pd(Ph ₂ PPhCl) ₂ Cl ₄]	0.019	0.036
[Pd(PPh ₃) ₂ Cl ₄]	0.083	0.097

* v_1 – скорость образования бутилакрилата,

** v_2 – скорость образования дибутилмалеата, дибутилсукцината и дибутилфумарата.

Список литературы:

1. Шубочкин Л.К., Сорокина Л.А., Шубочкина Е.Ф. // Ж. неорг. химии, 1976. Т. 21, № 9. С. 2567-2560.
2. Шаплыгин И.С., Апарников Г.Л., Лазарев В.Б. // Ж. неорг. химии, 1978. Т. 23, № 4. С. 884-887.
3. Кукушкин Ю.Н., Седова Г.Н., Власова Р.А. // Ж. неорг. химии, 1978. Т. 23, № 7. С. 1877-1883.

4. *Uson R., Romies J., Navarro R.* // J. Organomet. Chem., 1975. V. 96, N 2. P. 307-312.
5. *Кукушкин Ю.Н., Седова Г.Н., Беляев А.Н., Коновалов Л.В.* // Ж. неорг. химии, 1980. Т. 25, № 4. С. 1036-1043.
6. Реакционная способность координационных соединений. (Сб.статей). Москва, Наука, 1976. С. 133.
7. *Oehme G., Pracejus H.* // J. Prakt. Chem., 1980. V. 322, N 5. S. 798-808.
8. *Moravskiy A., Stille J.K.* // J. Am. Chem. Soc., 1981. V. 103, N 7. P. 4182-4186.
9. *Gillie A., Stille J.K.* // J. Am. Chem. Soc., 1980. V. 103, N 8. P. 4933-4941.
10. *Colton R., Farthing R.H., Cormick M.J.* // Austral. J. Chem., 1973. V. 26, N 6. P. 2607-2614.
11. *Земсков С.В., Никоноров Ю.И., Пастухова Е.Д., Митькин В.Н.* // Изв. СО АН СССР, 1976. № 7. С. 83-87.
12. *Иванов-Эмин Б.Н., Борзова Л.Д., Егорова А.Н., Дрон Акумар Судбжен* // Ж. неорг. химии, 1974. Т. 19, № 6. С. 1570-1572.
13. *Иванов-Эмин Б.Н., Венковский Н.У., Линько И.В.* // Ж. неорг. химии, 1981. Т. 26, № 8. С. 2195-2199.
14. *Венковский Н.У., Иванов-Эмин Б.Н., Линько И.В.* // Изв. ВУЗов, Сер. хим. и хим. технол., 1981. Т. 24, № 5. С. 531-534.
15. *Siebert H., Siebert A.* // Angew. Chem., 1969. V. 81, N 15. P. 575-576.
16. *Buser H.I., Ron G., Lud I., Engel P.* // J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1974. N 11. P. 2473-2474.
17. *Пещевицкий Б.И., Садовский А.П., Кравцова Э.А., Митькин В.Н.* // Коорд. химия, 1979. Т. 5, № 12. С. 1838-1845.
18. *Бусыгина Т.Е.* Синтез и исследование свойств комплексных соединений палладия(IV). Дисс.... канд. хим. наук, Казань, КХТИ, 1984. 121 С.
19. *Gulliver D.J., Levason W.* // J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1982. N 10. P. 1895-1897.
20. *Warren L.F., Bennett M.A.* // Inorg. Chem., 1976. V. 15, N 12. P. 3126-3140.
21. *Nyholm R.S., Royo P.* // J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1969. N 8. P. 421-424.
22. *Uson R., Poyo P., Fornies J., Martines F.* // J. Organomet. Chem., 1975. V. 90, N 2. P. 367-374..
23. *Кукушкин Ю.Н.* // Коорд. химия, 1982. Т. 8, № 5. С. 596-601.
24. *Кукушкин Ю.Н., Данилина Л.И.* // Коорд. химия, 1982. Т. 8, № 1. С. 8-22.
25. *Кукушкин Ю.Н.* // Ж. неорг. химии, 1963. Т. 8, № 4. С. 817-822.
26. *Басоло Ф., Пирсон Р.* Механизмы неорганических реакций. Москва, Мир, 1971. С.155.
27. *Черняев И.И., Муравейская Г.С.* // Ж. неорг. химии, 1957. Т. 2, № 4. С. 772-775.
28. *Шмидт В.С., Шорохов Н.А., Ваиман А.А., Самсонов В.Е.* // Ж. неорг. химии, 1982. Т. 25, № 5. С. 1254-1256.
29. *Хеммис Г.* Методы исследования быстрых реакций. Москва, Мир, 1977. С.15.
30. *Батунер Л.М., Позин М.Е.* Математические методы в химической технике. Москва, Химия, 1968. С.673.
31. *Нефедов В.И.* Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. Москва, Химия, 1984. С. 208.
32. *Газизов К.К.* Окислительно-восстановительные свойства комплексов палладия с фосфорорганическими лигандами в неводных средах. Дисс.... канд. хим. наук, Казань, КХТИ, 1983. 120 С.
33. *Попель А.А.* Практическое руководство по химии комплексных соединений. Казань, КГУ, 1979. С.181.
34. *Pearson R.G., Gray H.B., Basolo F.* // J. Am. Chem. Soc., 1960. V. 82, N 4. P. 787-792.
35. *Goates E.A., Parkin G.* // J. Chem. Soc., 1963. N 3. P. 734-737.

36. *Гринберг А.А.* Введение в химию комплексных соединений. Москва-Ленинград, 1951. С.25.
37. *Половняк В.К., Бусыгина Т.Е., Ахметов Н.С.* // Ж. неорг. химии, 1985. Т. 30, № 2. С. 397-400.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.02.05

**А. В. Болдырев к.т.н., С. В. Болдырев, В. Л. Мулюкин, С. И. Харчук к.ф.-м.н.,
С. С. Харчук**

Камская государственная инженерно-экономическая академия
кафедра «Теплоэнергетика и гидропневмоавтоматика»
Россия, г. Набережные Челны
alexeyboldyrev@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ ОТ РАЗМЕРОВ ВХОДНОЙ ДОБАВЛЕННОЙ ОБЛАСТИ

Исследовано влияние размеров границ полусферической добавленной входной области на результаты численного моделирования осесимметричного квазистационарного отрывного турбулентного течения несжимаемого газа за диафрагмой. Используются три модели турбулентности для трех режимов течения. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по распределению на стенке цилиндрического канала коэффициентов трения и давления. Получена независимость решения от радиуса полусферы входной области.

Ключевые слова: размеры входной границы, модель турбулентности, коэффициент трения, коэффициент давления, отрыв потока, режим течения.

При выполнении численного эксперимента часто возникают проблемы с постановкой физически неопределенных граничных условий, от которых может зависеть не только количественное, но и качественное приближение к натурному эксперименту. При отсутствии достоверных экспериментальных данных исследователь вынужден опираться только на собственный опыт и/или интуицию.

В частности, в работе [3] было отмечено, что результаты численного моделирования течения в вихревой трубе определялись способом постановки граничных условий на срезе входного патрубка. Для получения независимого от условий входа решения автор применил шарообразную добавочную область, однако не занимался разработкой рекомендаций по ее размерам.

Поэтому актуальной является задача выявления оптимальных параметров таких добавочных областей. В статье [4] представлены результаты исследования влияния формы и размеров входной границы при моделировании отрывного турбулентного течения в цилиндрическом канале за диафрагмой, распложенной на входе. Для верификации модели течения использовались материалы экспериментальных исследований [1, 2] – распределение на стенке канала коэффициентов трения C_f и давления C_p . Расчеты осуществлялись в лицензионном программном пакете STAR-CCM+ 4.04.011 для числа Рейнольдса $Re = V_2 \cdot D_2 / \nu = 72541$ (V_2 – среднерасходная скорость в канале диаметром D_2).

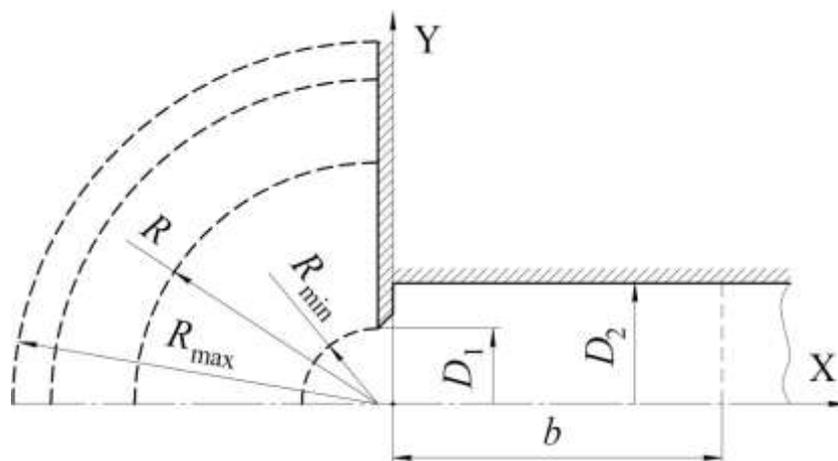


Рис. 1– Схема расчетной области ($D_1 = 40$ мм, $D_2 = 64$ мм, $b = 20$ мм).

Рассматривались три варианта исполнения входной границы: наименьшее проходное сечение диафрагмы («срез диафрагмы»), полусферы радиусами $D_2/2$ и $3D_2/2$ соответственно. Для большей достоверности результаты замыкания системы осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса и неразрывности осуществлялось на основе трех моделей турбулентности: стандартная квадратичная низкорейнольдсовая $k-\varepsilon$, низкорейнольдсовая SST $k-\omega$, двухслойная Realizable $k-\varepsilon$ с гибридными пристеночными функциями. На входной границе расчетной области задавался соответствующий числу Рейнольдса массовый расход, на выходной – нулевое избыточное статическое давление.

Сравнение расчетных [5] и экспериментальных [1, 2] данных показало, что, безусловно, введение дополнительной входной области дает положительный результат. Это объясняется тем, что в численном эксперименте в виду ограниченности вычислительных ресурсов невозможно смоделировать заполнение канала из безграничного пространства, что имело место в натурном эксперименте при всасывании воздуха из окружающей среды.

Численное моделирование течения в расчетной области с входной границей на срезе диафрагмы приводит к занижению длины отрывной области X_R и значений коэффициента трения и давления для всех задействованных моделей турбулентности.

При рассматриваемых параметрах расчетной сетки модели Quadratic $k-\varepsilon$ и Realizable $k-\varepsilon$ с границей «срез диафрагмы» показывают постоянство длины отрывной области X_R при увеличении числа Рейнольдса, а модель SST вообще прогнозирует ее уменьшение (для всех рассматриваемых вариантов входной границы).

Для «отодвинутых» границ:

1) модель Quadratic $k-\varepsilon$ хорошо предсказывает длину отрывной области, но занижает максимальное значение коэффициента трения в отрывной зоне. Модели Realizable $k-\varepsilon$ и SST $k-\omega$, наоборот, показывают лучшее соответствие натурным экспериментам по локальному значению коэффициента трения, но завышают протяженность зоны рециркуляции.

2) по коэффициенту давления при рассматриваемых параметрах расчетной сетки количественно лучший результат обеспечивается моделью Quadratic $k-\varepsilon$ (менее удачный – SST $k-\omega$).

Следует отметить, что результаты расчетов для полусфер радиусами $D_2/2$ и $3D_2/2$ практически совпадают. Это позволяет искать добавочную область с такими размерами, которые обеспечивают достаточную точность при одновременной экономии на числе ячеек расчетной сетки.

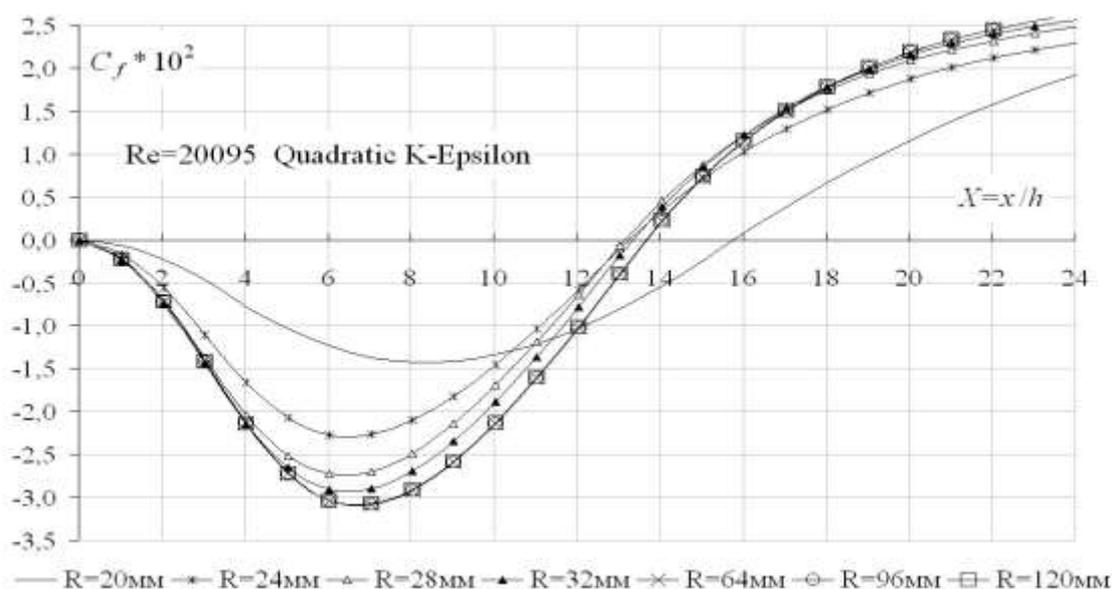


Рис. 2– Влияние радиуса входной области на распределение коэффициента трения на стенке канала для модели Quadratic $k - \varepsilon$ при $Re=20095$.

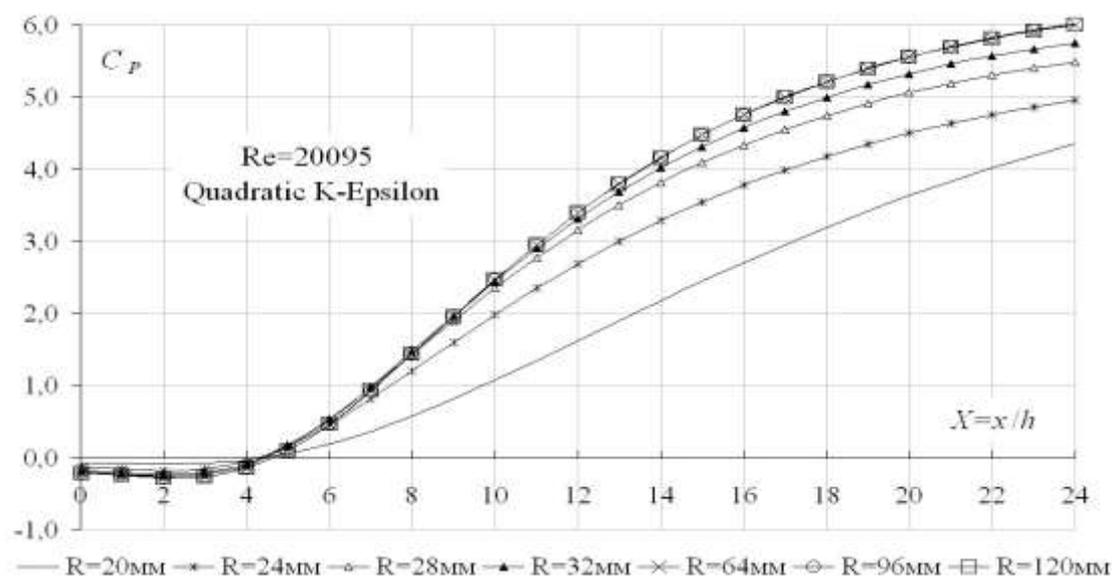


Рис. 3– Влияние радиуса входной области на распределение коэффициента давления на стенке канала для модели Quadratic $k - \varepsilon$ при $Re=20095$.

С этой целью в данной работе были проведены систематические расчеты для рассмотренного отрывного течения за диафрагмой ($Re=72541$) с различными размерами добавочной входной полусферической области радиусами R : 20, 24, 28, 32, 40, 48, 64, 96, 120 мм (рис. 1).

Для всех примененных моделей турбулентности получены аналогичные данные по появлению автомодельности решения, начиная с радиуса $R=64$ мм. То есть ни локальные, ни интегральные характеристики течения не изменялись с дальнейшим увеличением размера входной добавочной области.

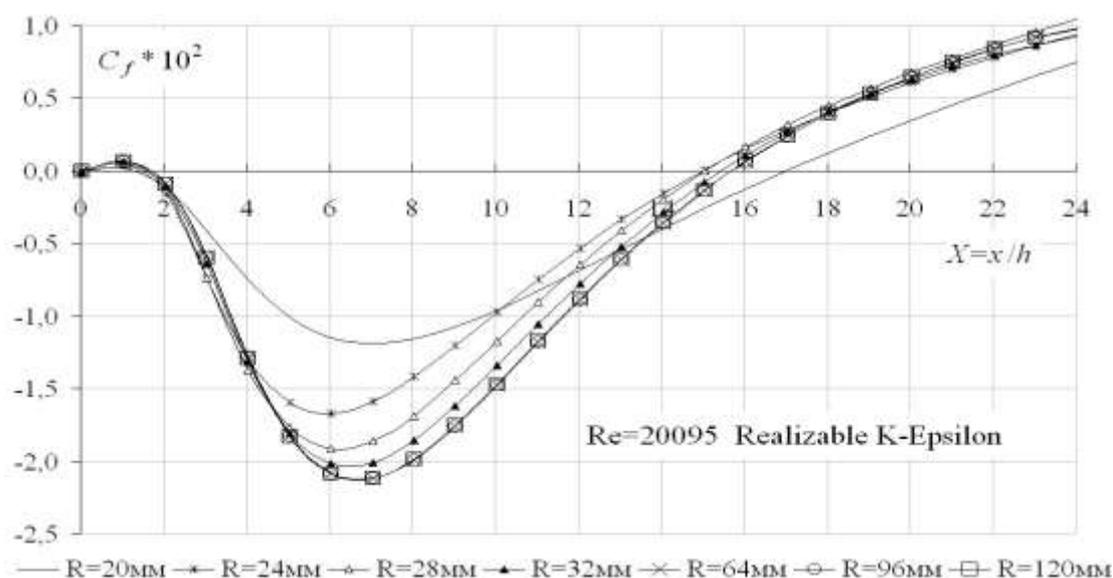


Рис. 4– Влияние радиуса входной области на распределение коэффициента трения на стенке канала для модели Realizable $k - \varepsilon$ при $Re=20095$.

Данное обстоятельство было подтверждено в численном эксперименте для двух других режимов течения со значениями числа Рейнольдса 20095 и 36784. Например, с помощью модели Quadratic $k - \varepsilon$ при $Re=20095$ для распределения на стенке коэффициента трения и коэффициента давления получены следующие данные (рис. 2, 3), а для модели Realizable $k - \varepsilon$ на этом же режиме течения – рис. 4.

Все тестируемые в работе модели турбулентности при всех рассматриваемых вариантах входной границы качественно правильно предсказывают уменьшение трения на стенке канала в рециркуляционной области с ростом числа Рейнольдса [1].

В экспериментах [1] наблюдается некоторое сокращение длины отрывной зоны X_R при снижении числа Рейнольдса. Этот результат качественно повторяют модели Quadratic $k - \varepsilon$ и Realizable $k - \varepsilon$ только при удалении входной границы от диафрагмы. Однако количественно такое изменение длины X_R в расчетах несколько занижается.

Список литературы:

1. Давлетшин И.А. Гидродинамические и тепловые процессы в пульсирующих турбулентных потоках: дис. докт. техн. наук. – Казань, 2009. – С. 194-218.
2. Давлетшин, И.А. Отрыв пульсирующего потока / И.А. Давлетшин, Н.И. Михеев, В.М. Молочников // Доклады академии наук. – 2007. – Т. 417, № 6. – С. 760-763.
3. Соловьев А.А. Численное и физическое моделирование процессов энерго- и фазоразделения в вихревых трубах: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Уфа, 2008. – 16 с.
4. Болдырев, А.В. Оценка влияния границы входной области на результаты моделирования отрывного турбулентного течения / А.В. Болдырев, С.В. Болдырев, С.И. Харчук, С.С. Харчук // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №5. – С. 22-26.

А. А. Большаков¹, А. Ю. Большаков² к.ф.-м.н., Е. Б. Пименова²

¹ЗАО Проектный институт реконструкции и строительства
Россия, г. Пермь
artem_bolsh@mail.ru

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, г. Пермь

ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ШТАМП НА ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Предложено приближенное решение задачи о действии сосредоточенной силы на двухпараметрическое упругое основание. На основе естественного обобщения найденного решения, получены аналитические выражения для определения осадок жесткой прямоугольной плиты (штампа) и грунта за ее пределами.

Ключевые слова: прямоугольная жесткая плита, двухпараметрическое упругое основание, сосредоточенная сила, приближенное решение.

При действии осевой нагрузки все точки грунта под жесткой плитой оседают на одну и ту же величину w_0 . Общий вид уравнения меридиана осадочной поверхности вращения за пределами круглого штампа должен быть, очевидно, тот же самый, что и в случае одной сосредоточенной силы, расположенной непосредственно на грунте в центре штампа [1].

Однако, если жесткая плита имеет в плане прямоугольную форму, подобный простой перенос решения задачи о действии сосредоточенной силы на упругое основание на расчет осадки штампа и грунта за его пределами – невозможен: в этом случае задача определения осадки сводится к решению интегрального уравнения [2].

Ниже предлагается приближенное аналитическое решение задачи о действии сосредоточенной силы на двухпараметрическое основание, которое естественным образом, подобно тому, как это сделано для точного решения и круглого штампа, распространяется на решение задачи о действии центральной силы на штамп в форме прямоугольника.

Рассмотрим двухпараметрическую модель основания П.Л.Пастернака [1], в которой упругие характеристики грунтов определяются в интегральной форме двумя коэффициентами постели – коэффициентом сжатия c_1 (в Н/м³) и коэффициентом сдвига c_2 (в Н/м).

Дифференциальное уравнение осадочной поверхности $\omega(\xi, \eta)$ двухпараметрического основания в относительных прямоугольных координатах

$$\xi = \frac{x}{s}, \quad \eta = \frac{y}{s}, \quad s = \sqrt{\frac{c_2}{c_1}}, \quad (1)$$

при действии сосредоточенной силы N имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta^2} - \omega = 0. \quad (2)$$

Используя метод разделения переменных, и представив выражение прогибов в виде $\omega = X(\xi) \cdot Y(\eta)$, функции $X(\xi)$ и $Y(\eta)$ найдем из следующих дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} X''(\xi) - (1 - k^2)X(\xi) = 0; \\ Y''(\eta) - k^2Y(\eta) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Смягчим достаточно жесткое (для представления решения в прямоугольных координатах) требование осевой симметрии поверхностей уровней осадок $\omega(\xi, \eta)$ относительно точки приложения нагрузки $N(\xi = 0, \eta = 0)$, заменив его более мягким ограничением: считая направления ξ, η равноправными, должны иметь для функции $X(\xi)$ и $Y(\eta)$ одинаковые дифференциальные уравнения, тогда $k^2 = 0.5$

и выражение прогибов принимает вид

$$\omega = \omega_0 \cdot \exp(-|\xi|/\sqrt{2}) \cdot \exp(-|\eta|/\sqrt{2}). \quad (4)$$

Если в точном (осесимметричном) решении поверхности уровня функции осадок представляет собой окружности, то в рассматриваемом приближенном решении (в относительных координатах ξ, η) поверхности уровня осадочной лунки – квадраты, стороны которых равно наклонены к координатным осям ξ, η .

Постоянную интегрирования ω_0 можно определить из условий равновесия вертикальных нагрузок: величина силы должна быть равна c_1 -кратному объему осадочной лунки, распространяющейся от начала координат (под нагрузкой) до бесконечности:

$$N = 8c_1\omega_0s^2 \int_0^\infty \exp(-\xi_1)d\xi_1 \cdot \int_0^\infty \exp(-\eta_1)d\eta_1 = 8c_2\omega_0. \quad (5)$$

Таким образом, приближенное выражение для осадочной поверхности при действии сосредоточенной силы имеет вид:

$$\omega = \frac{N}{8c_2} \cdot \exp(-\xi/\sqrt{2}) \cdot \exp(-\eta/\sqrt{2}). \quad (6)$$

При действии центральной нагрузки, все точки грунта под жестким штампом оседают на одну и ту же величину ω_0 . Очевидно, что вблизи штампа, линии уровня поверхности прогибов основания повторяют форму его контура и, постепенно затухая, трансформируются в окружности при удалении от штампа.

Направим оси (x, y) вдоль диагоналей основания штампа, тогда для квадратного штампа форма осадочной лунки вблизи контура совпадает с полученным выше уравнением поверхности прогибов при действии сосредоточенной силы непосредственно на грунт в центре штампа.

Вследствие быстрого затухания прогибов, для оценки суммарной реакции основания вне штампа вполне достаточно знать лишь форму осадочной лунки в окрестности его контура, то есть можно воспользоваться решением в форме (6):

$$\omega = \omega_0 \frac{\exp\left(-\frac{\Gamma}{\sqrt{2}}(|\xi| + |\eta|)\right)}{\exp\left(-\frac{\delta}{2\sqrt{2}}\right)}, \quad (7)$$

где $\delta = \frac{d}{s}$, d – диагональ квадратного штампа.

При этом уравнение контура штампа есть

$$|\xi| + |\eta| = \frac{\delta}{2}. \quad (8)$$

Полная величина отпора грунта, уравнивающая нагрузку N , складывается из двух частей:

$$N = N_{um} + N_l, \quad (9)$$

где N_{um} – отпор грунта под штампом,

N_l – отпор грунта лунки за пределами штампа.

Отпор грунта под штампом может быть определен как:

$$N_{um} = c_1 \omega_0 \frac{d^2}{2}. \quad (10)$$

Опираясь на соотношение (7), найдём величину отпора грунта лунки за пределами штампа.

$$N_l = \frac{4c_1 \omega_0 s^2}{\exp(-\delta/2\sqrt{2})} \int_{\delta/2}^{\infty} \exp(-\sqrt{0.5} \cdot \xi) \xi d\xi = c_2 \omega_0 \left(\frac{d}{s\sqrt{2}} + 8 \right). \quad (11)$$

При стремлении площади штампа к нулю, то есть при $d \rightarrow 0$, получаем $N_l = N = 8c_2 \omega_0$, что совпадает с полученным ранее результатом.

Подставляя (10), (11) в (9), найдём зависимость осадки штампа ω_0 от величины центрально приложенной силы N .

Выделим из общего отпора грунта лунки за пределами штампа часть, приходящуюся на сосредоточение реакции в углах плиты. Для этого вычислим суммарный отпор грунта, приходящийся на полубесконечные полосы – «лепестки», построенные на сторонах квадратного штампа.

Отпор грунта «лепестков» определяется соотношениями:

$$N_{л.ст.} = \frac{4c_1 \omega_0 s^2}{\exp(-\delta/2\sqrt{2})} \cdot \frac{\delta}{2} \cdot \int_{\delta/2}^{\infty} \exp(-\sqrt{0.5} \cdot \xi) d\xi = c_2 \omega_0 \frac{d}{s\sqrt{2}}. \quad (12)$$

Из выражения (12) можно определить среднюю интенсивность T поперечных сил, приложенных к стороне штампа:

$$T = \frac{N_{л.ст.}}{\Pi} = \frac{N_{л.ст.}}{2\sqrt{2}d} = \frac{c_2 \omega_0}{4s}. \quad (13)$$

Сравнивая (11) и (12), найдём реактивную нагрузку, действующую на угловые точки квадратного штампа:

$$4N_y = N_l - N_{л.ст.} = 8c_2 \omega_0. \quad (14)$$

Что, при стремлении площади квадратного штампа к нулю, согласуется с ранее полученным результатом (5).

Основные выводы:

1. К углам штампа приложены сосредоточенные силы реакции основания $N_y = 2c_2 \omega_0$, величины которых не зависят от размеров жёсткой плиты и определяется только значениями коэффициента постели основания c_2 и модуля осадки штампа ω_0 .

2. Интенсивность поперечных сил T , приложенных к сторонам жёсткого штампа, при заданной осадке, не зависит от геометрических размеров штампа, и определяется только значениями коэффициентов постели c_1, c_2 и величиной осадки ω_0 .

Список литературы:

1. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56с.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высш. Школа, 1973. – 280с

Ал. Ф. Гайсин¹, А. З. Гумеров² к.т.н., Р. Т. Насибуллин², Л. Р. Саримов²

¹Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева
Россия, г. Казань

²Камская государственная инженерно-экономическая академия
Россия, г. Набережные Челны
nasibullin.ramil@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДАМИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ И ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ

Представлены результаты экспериментального исследования колебаний тока электрического разряда между металлическим и электролитическим электродами. Выявлены особенности колебания тока соответствующие тлеющему и многоканальному разрядам.

Ключевые слова: электрический разряд, низкотемпературная плазма, колебания тока.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы изучению и применению электрических разрядов между металлическим и электролитическим электродами уделяется большое внимание [1,2]. Низкотемпературная плазма электрического разряда имеет множество эффектов, полезных с точки зрения технологических применений: очистка и полировка материалов и изделий, получения мелкодисперсных металлических порошков, нанесения противокоррозионных покрытий и т.д.. Несмотря на широкое применение электрических разрядов с электролитическими электродами в промышленности, набор имеющихся в литературе экспериментальных данных не позволяют судить о закономерностях и механизмах этих разрядов.

Многочисленные исследования электрических разрядов показывают, что плазма разряда не является стационарной. В ней происходят колебания как электрических, так и неэлектрических параметров. Характер и степень колебаний зависит от типа исследуемого источника плазмы. Исследование колебаний имеет большое значение при оценке точности измерения характеристик плазмы. Знание характера, интенсивностей и причин возникновения колебаний тока в разряде особенно необходимо для разработки плазменных установок, в которых поддержание стабильности тока является основной функцией системы управления.

Целью данной работы является установление особенностей колебаний тока электрического разряда между металлическим и электролитическим электродами при атмосферном и пониженных давлениях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследования электрических разрядов между металлическими и электролитическими электродами проводились в диапазоне напряжения разряда $U=0,2\div 4$ кВ, токов $I=0,01\div 10$ А, межэлектродных расстояний $L=0,1\div 100$ мм, давлений $P=2\div 100$ кПа. Описание экспериментальной установки приведено в [3].

Для исследования колебаний тока электрического разряда установка была дополнена измерительным комплексом на основе осциллографа типа ОСУ-20 и скоростных видеокамер Fastec Troubleshooter LE. Одна из видеокамер фиксировала электрический разряд, а вторая –

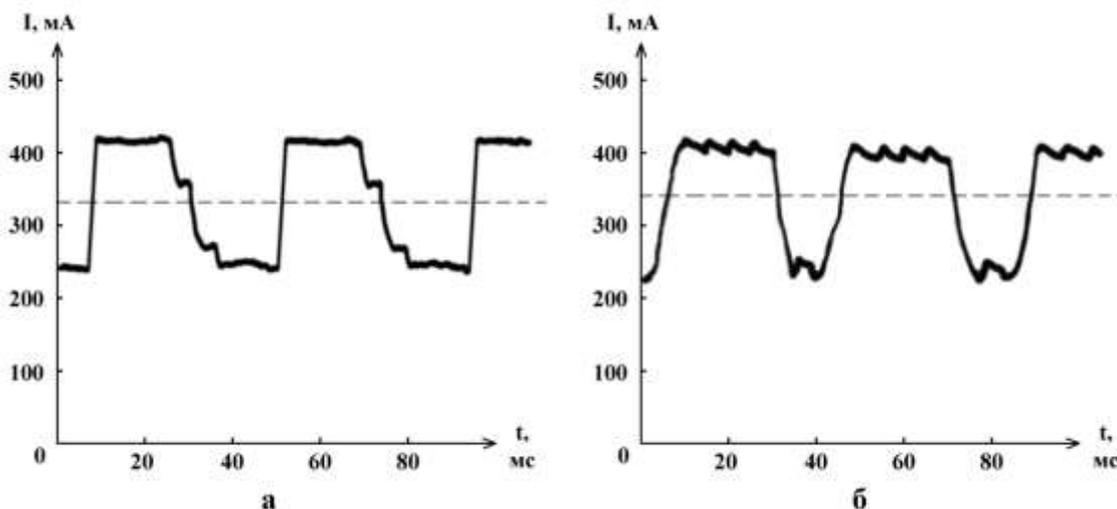
колебания тока разряда на экране осциллографа. Скоростные видеокамеры управлялись общим дистанционным пультом управления, что позволяет сопоставлять колебания тока с процессом разряда. Для расширения пределов измеряемых токов осциллограф подключался через делитель со ступенчато изменяемым коэффициентом деления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования электрических разрядов проводились для двух случаев: первый, когда электролитический электрод являлся катодом, и, второй, когда электролитический электрод являлся анодом. Существенной разницей этих двух случаев являются физико-химические процессы, происходящие на границах взаимодействия плазмы и электродов.

Проведенные исследования показали, что при давлениях, не выше атмосферного, разряд между твердым металлическим и электролитическим электродами имеет две разновидности: тлеющий разряд и многоканальный разряд. Эти разновидности различаются как структурой разряда и формой пятен на катоде и аноде, так и электрическими параметрами, такими как: напряжение, ток, распределение потенциала и напряженность поля в разряде.

При атмосферном давлении для тлеющего разряда характерны колебания с основной гармоникой около $25 \div 30$ Гц (рис.1). При этом форма колебаний тока имеет несимметричный характер. Колебания тока разряда с электролитическим анодом (рис.1.а) характеризуются достаточно крутым передним фронтом, а задний фронт имеет ступенчатую форму. Также видно, что в колебаниях тока разряда с электролитическим катодом (рис.1.б) присутствуют и высокочастотные составляющие: «вершины» и «впадины» основной гармонике тока промодулированы сигналом с частотой $150 \div 180$ Гц. Коэффициент пульсаций тока для тлеющего разряда при атмосферном давлении находится в пределах $12 \div 16$ %.



**Рис.1 – Осциллограммы колебания тока тлеющего разряда при атмосферном давлении ($P=100$ кПа) для случаев:
а – электролитический анод, б – электролитический катод.**

При увеличении тока разряда свыше $0,36 - 0,38$ А (среднее значение тока) при атмосферном давлении тлеющий разряд переходит в многоканальный, для которого характерно появление в разряде отдельных ярко светящихся четко очерченных каналов. Число каналов в основном определяется плотностью тока на твердом металлическом электроде. Колебания тока многоканального разряда при атмосферном давлении показаны на рис. 2. Форма колебаний тока многоканального разряда несколько отличается от колебаний тока тлеющего разряда. Частота основной гармонике колебаний тока не изменяется и находится в пределах $25 \div 30$ Гц. Для разряда с электролитическим анодом заметно

увеличение ступенчатости заднего фронта (рис.2.а). Частота высокочастотной составляющей колебаний тока разряда с электролитическим катодом (рис.2.б) несколько уменьшается, однако амплитуда высокочастотной составляющей увеличивается по сравнению с тлеющим разрядом.

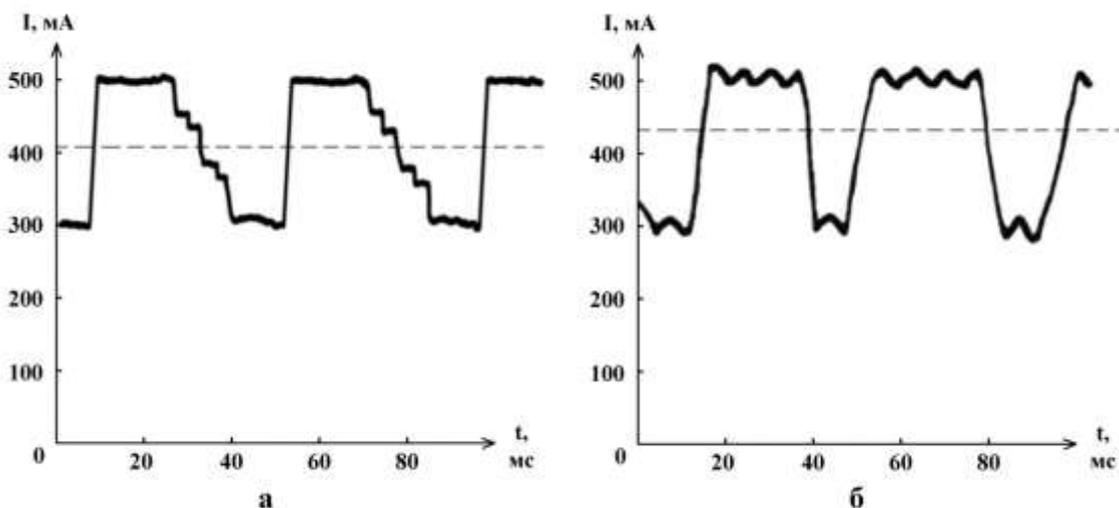


Рис.2 – Осциллограммы колебания тока многоканального разряда при атмосферном давлении ($P=100$ кПа) для случаев:
а – электролитический анод, б – электролитический катод.

С уменьшением давления изменяются проводящие свойства воздуха. При этом уменьшается пороговый ток перехода тлеющего разряда в многоканальный. Изменяются также и колебания тока разряда. Колебания тока тлеющего разряда при давлении 20 кПа показаны на рис.3. Форма колебаний тока разряда с электролитическим анодом (рис.3.а) несколько сгладилась, передний фронт стал более пологим, но на заднем фронте ступенчатость осталась. Колебания тока разряда с электролитическим катодом, также изменились: высокочастотные колебания на «впадинах» основной гармонике сгладились и вместо них образовались участки плавного нарастания тока. Коэффициент пульсаций тока несколько возрос и составил $14 \div 20$ %.

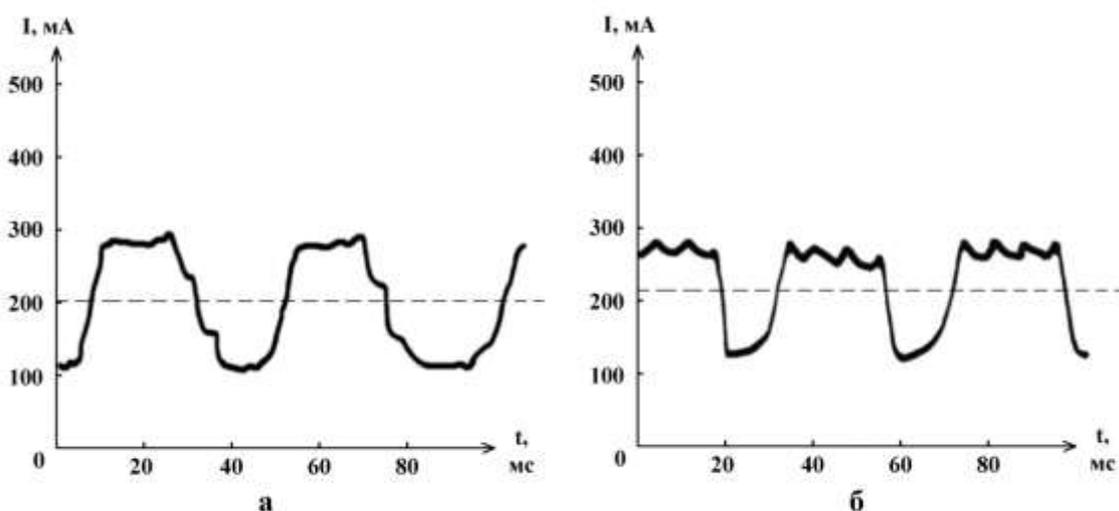
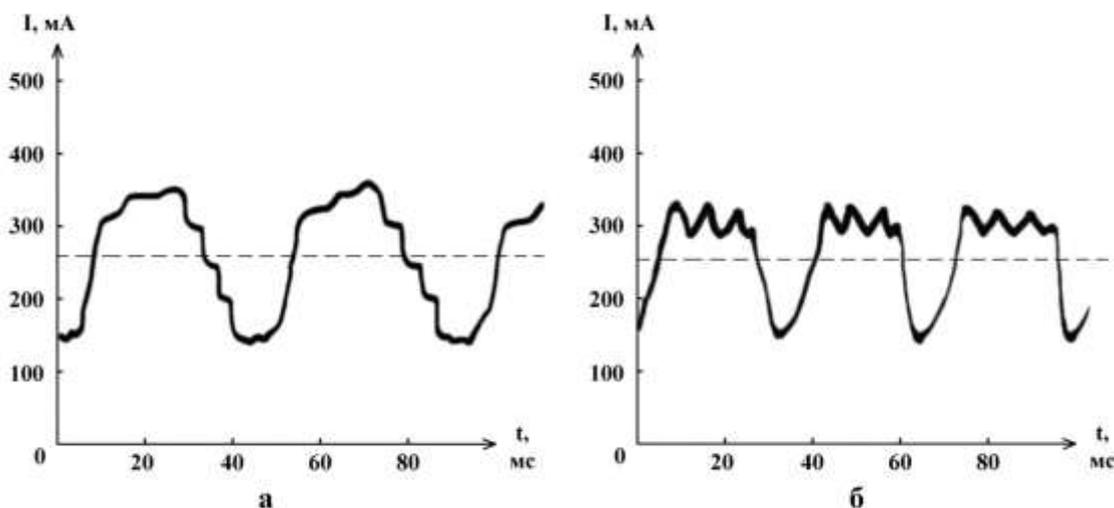


Рис.3 – Осциллограммы колебания тока тлеющего разряда при пониженном давлении ($P=20$ кПа) для случаев:
а – электролитический анод, б – электролитический катод.

Колебания тока многоканального разряда также изменились. На колебаниях разряда с электролитическим анодом (рис.4.а) появилась ступенчатость на «вершинах» колебаний. Колебания тока разряда с электролитическим катодом (рис.4.б) незначительно отличаются от колебаний тока тлеющего разряда.



**Рис.4 – Осциллограммы колебания тока многоканального разряда при пониженном давлении ($P=20$ кПа) для случаев:
а – электролитический анод, б – электролитический катод.**

Таким образом, колебания тока зависят как от характера разряда (тлеющий или многоканальный), так и от давления. Уменьшение давления приводит к сглаживанию колебаний тока. Характер разряда непосредственно влияет на саму форму колебаний. Переход тлеющего разряда в многоканальный сопровождается увеличением ступенчатости заднего фронта колебаний тока у разряда с электролитическим анодом, и усилением высокочастотных составляющих тока у разряда с электролитическим катодом.

Список литературы:

1. Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. Электрические разряды в парогазовой среде с нетрадиционными электродами // Энциклопедия низкотемпературной плазмы / Под ред. Фортова В.Е. - М.: Наука, 2000, С. 241.
2. Гайсин Аз.Ф., Сон Э.Е. Паровоздушные разряды между электролитическим катодом и металлическим анодом при атмосферном давлении / Гайсин А.Ф., Сон Э.Е. // ТВТ. - М., 2005, Т. 43, № 1, С. 5.
3. Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р. Некоторые особенности электрического разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом / Гайсин Ал. Ф., Саримов Л.Р. // Физика плазмы - М., 2011, Т. 37, №5, С. 1-6.

Х. Ш. Джураев

Таджикский национальный университет, физический факультет, кафедра ВМ, системы и сети
Таджикистан, г. Душанбе
hayrullo_58@mail.ru

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Рассматривается проблема устойчивости распространения волн в анизотропной неоднородной среде. Построен класс приближенного решения в виде регуляризирующих операторов, обладающие свойством устойчивости к малым отклонениям исходных данных. При этом важную роль играет выбор сглаживающей функция и условия согласования параметра регуляризации с погрешностью.

Ключевые слова: сглаживающая функция; параметр регуляризации; семейство регуляризирующих алгоритмов; устойчивость; некорректность.

1. Рассмотрим уравнение с частными производными, объяснившее многие физические явления:

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + a(x) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + b(x)u(x,t) = \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + c(t) \frac{\partial u(x,t)}{\partial t}. \quad (1)$$

Оно соответствует свободным колебаниям материальных тел (скорости сигналов в линии при последовательном или одновременном способе управления) или электромагнитного поля. Считая, что $a(x) \geq 0$, $b(x) \geq 0$, $c(t) \geq 0$ непрерывно заданные на $[0,1]$ и $[0,t_0]$ функции соответственно, будем искать решение уравнения (1) при предельных условиях

$$\left(\gamma_1 \frac{\partial u}{\partial n} + \gamma_2 u \right) \Big|_{\Gamma} = \begin{cases} 0 & \text{при } x=0 \text{ и } x=l, \\ \varphi(x) & \text{при } t=0, \\ \psi(x) & \text{при } t=t_0. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь γ_1, γ_2 —числа, а $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ —заданные непрерывные функции на $[0,1]$. Если $\gamma_1 = 0$, то имеем первую краевую задачу, если $\gamma_2 = 0$ -вторую, а при $\gamma_1 \neq 0$ и $\gamma_2 \neq 0$ -третью.

Уравнение (1) определяет класс гиперболических уравнений, для которых краевая задача, может быть решена методом Фурье. Если $X_k(x, \lambda_k)$ есть k -ая собственная функция краевой задачи

$$\frac{d^2 X}{dx^2} + a(x) \frac{dX}{dx} + (b(x) + \lambda^2)X = 0, \quad \left(\gamma_1 \frac{dX}{dx} + \gamma_2 X \right) \Big|_{x=0} = \left(\gamma_1 \frac{dX}{dx} + \gamma_2 X \right) \Big|_{x=l} = 0,$$

а λ_k -соответствующее ей собственное значение и $T_k(t, \lambda_k)$ -решение уравнения

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + c(t) \frac{dT}{dt} + \lambda_k^2 T = 0, \quad \text{удовлетворяющего предельные условия}$$

$$\left(\gamma_1 \frac{dT}{dt} + \gamma_2 T \right) \Big|_{t=0} = \varphi_k, \quad \left(\gamma_1 \frac{dT}{dt} + \gamma_2 T \right) \Big|_{t=t_0} = \psi_k, \text{ то общее решение (1)-(2) имеет вид}$$

$$u(x,t) = \sum_{k=0}^{\infty} [\varphi_k T_{1k}(t, \lambda_k) + \psi_k T_{2k}(t, \lambda_k)] \frac{X_k(x, \lambda_k)}{\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)}, \quad (3)$$

где φ_k и ψ_k - коэффициенты Фурье функций $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ по системе $\{X_k(x, \lambda_k)\}$,

$$\begin{aligned} a \quad T_{1k}(t, \lambda_k) &= \gamma_1 (T'_{2k}(t_0)T_{1k}(t) - T'_{1k}(t_0)T_{2k}(t)) + \gamma_2 (T_{2k}(t_0)T_{1k}(t) - T_{1k}(t_0)T_{2k}(t)), \\ T_{2k}(t, \lambda_k) &= \gamma_1 (T'_{1k}(0)T_{2k}(t) - T'_{2k}(0)T_{1k}(t)) + \gamma_2 (T_{1k}(0)T_{2k}(t) - T_{2k}(0)T_{1k}(t)), \\ \Phi_k(0, t_0, \lambda_k) &= \gamma_1^2 (T'_{2k}(t_0)T'_{1k}(0) - T'_{1k}(t_0)T'_{2k}(0)) + \gamma_1 \gamma_2 (T'_{2k}(t_0)T_{1k}(0) - T'_{1k}(0)T_{2k}(t_0)) - \\ &\quad - \gamma_1 \gamma_2 (T'_{1k}(t_0)T_{2k}(0) - T'_{2k}(0)T_{1k}(t_0)) + \gamma_2^2 (T_{2k}(t_0)T_{1k}(0) - T_{1k}(t_0)T_{2k}(0)). \end{aligned}$$

Чтобы задача (1)-(2) была корректной, необходимо, чтобы решение вида (3) удовлетворяло все три условия корректности по Адамару (см. [1]).

Существование решения задачи (1)-(2) зависят от абсолютной и равномерной сходимости ряда (3) при $t \in [0, t_0]$ и $x \in [0, l]$, либо ряды, которые из него получаются при двукратном дифференцировании по t и x , будут равномерно сходящимися в промежутке $[0, l]$ при любом $t \in [0, t_0]$ (см. [2, с. 552]). Однако можно указать условия, при которых решение задачи (1)-(2) не существует, т.е. ряд (3) будет расходящимся в промежутке $[0, l]$ при всяком $t \in [0, t_0]$. Действительно, из вида (3) следует, что если существует такое k_0 , что $\Phi_{k_0}(0, t_0, \lambda_{k_0}) = 0$, то решения такого вида либо не существует, либо оно неединственное. Например, это имеет место (см. [3, с.12], [4]), когда $a(x) = b(x) = c(t) = \gamma_1 = 0$, так как в этом случае $\Phi_k(0, t_0, \lambda_k) = \sin\left(\frac{k\pi}{l}t_0\right)$.

Единственность решения задачи (1)-(2) следует из того, что любые два решения должны быть равноправными частями выражения (3) и, следовательно, равны друг другу. Не единственность решения задачи (1)-(2) следует из отношения $\beta = \frac{t_0}{l}$, так как $\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)$ может быть сколь угодно малым при достаточно больших значениях $k \in N$.

Рассмотрим теперь вопрос устойчивости. Обозначим через $u_i(x, t)$ решение вида (3), соответствующее $\varphi_i(x)$ и $\psi_i(x)$, где $i = 1, 2$. Необходимое условие устойчивости заключается в том, что за счет выбора $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2$ для которых нормы $\|\varphi_1 - \varphi_2\|$ и $\|\psi_1 - \psi_2\|$ достаточно малы, можно обеспечить сколь угодно малую норму $\|u_1 - u_2\|$.

Чтобы продемонстрировать неустойчивость, рассмотрим только один частный случай, а именно $l = \pi, t_0 = \beta\pi$, где β - положительная постоянная и функцию $a(x) \equiv b(x) \equiv c(t) \equiv 0$,

$$\varphi_1(x) = \varphi_2(x) = 0, \quad \psi_2(x) = \psi_1(x) + \frac{1}{\sqrt{\omega}} \sin(\omega x), \quad \omega > 0.$$

Используя этим функциям из (3), имеем

$$u_2(x, t) = u_1(x, t) + \frac{\gamma_2 \sin(\omega t) - \gamma_1 \omega \cos(\omega t)}{\sqrt{\omega[\gamma_2^2 + (\gamma_1 \omega)^2]} \sin(\beta \omega \pi)} \sin(\omega x),$$

где $u_1(x, t)$ - функция $u(x, t)$, определяемая по формуле (3) при $\varphi_1 = 0$ и $\psi_1 = \psi_1(x)$ - произвольная аналитическая функция.

Мерой разности между ψ_1 и ψ_2 в интервале $0 \leq x \leq \pi$ является величина

$$\|\psi_2 - \psi_1\| = \max_{x \in [0, \pi]} \left| \frac{1}{\sqrt{\omega}} \sin(\omega x) \right| = \frac{1}{\sqrt{\omega}}, \quad \text{которую можно сделать сколь угодно малой,}$$

назначая ω достаточно большой. Аналогичная мера разность между u_1 и u_2 в интервале $0 \leq x \leq \pi$ в момент времени $t \in [0, \beta\pi]$ является величина

$$\|u_2(x, t) - u_1(x, t)\| = \max_{x \in [0, \pi], t \in [0, \beta\pi]} \left| \frac{\gamma_2 \sin(\omega t) - \gamma_1 \omega \cos(\omega t)}{\sqrt{\omega[\gamma_2^2 + (\gamma_1 \omega)^2]} \sin(\beta \omega \pi)} \sin(\omega x) \right|, \quad (4)$$

которую можно сделать сколь угодно малой назначая ω достаточно большой. Однако, из (4) при любом фиксированном $t \in [0, \beta\pi]$ $\|u_2 - u_1\|$ может быть произвольно большим при достаточно больших значениях ω . Действительно, исходя из утверждения (см. [6, с. 76]) «иррационально число $\beta \in \mathbb{R}$ назовем хорошо приближаемым рациональными числами, если для любых натуральных чисел $n, m \in \mathbb{N}$ существует рациональное число $\frac{p}{q}$ такие, что $\left| \beta - \frac{p}{q} \right| < \frac{1}{mq^n}$ », существует последовательность целых чисел ω такая, что $\left| \beta - \frac{1}{\omega^3} \right| < \frac{1}{\omega^3}$ и $|\sin(\beta \omega \pi)| = \left| \sin\left(\beta \omega - \frac{1}{\omega^2}\right) \pi \right| < \frac{\pi}{\omega^2}$. Отсюда разность $\|u_2 - u_1\| = \frac{\omega(\gamma_2 + \gamma_1 \omega) \sqrt{\omega}}{\gamma_2^2 + (\gamma_1 \omega)^2} > \sqrt{\omega}$, может быть сколь угодно большой. Следовательно, при произвольно малой разности между $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2$ можно так выбрать ω , что определенная выражением (4) разность между u_1, u_2 станет произвольно большой. Проведенный анализ показывает, что задача (1)-(2) является неустойчивой.

Таким образом, доказано, что краевая задача для уравнения гиперболического типа второго порядка, решаемая с помощью преобразования Фурье в конечном предделе, является некорректной, поскольку она не удовлетворяет всем трем условиям корректности.

Считая, что для точно заданных исходных данных решение в виде (3) существует, в настоящей работе, которая примыкает к [7], даётся способ построения семейства регуляризирующих алгоритмов нахождения решения задачи (1)-(2), обладающих свойством устойчивости к малым изменениям исходных данных, основанных на идее регуляризации задачи суммирования рядов Фурье.

2. Пусть вместо $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ заданы их приближения $\tilde{\varphi}(x)$ и $\tilde{\psi}(x)$ из $L_2(0, l)$ такие, что $\|\tilde{\varphi}(x) - \varphi(x)\| \leq \delta$, $\|\tilde{\psi}(x) - \psi(x)\| \leq \delta$. Следуя [8], в качестве приближенного решения (1)-(2) с приближенными исходными данными $\tilde{\varphi}(x)$ и $\tilde{\psi}(x)$ будем брать значение однопараметрического семейства операторов

$$R(\tilde{\varphi}, \tilde{\psi}, x, t, \alpha) = \sum_{k=0}^{\infty} r(k, \alpha) [\tilde{\varphi}_k T_{1k}(t, \lambda_k) + \tilde{\psi}_k T_{2k}(t, \lambda_k)] \frac{X_k(x, \lambda_k)}{\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)}, \quad (6)$$

где $r(k, \alpha)$ -сглаживающие функции, определенные для всех $\alpha \geq 0$ и $k = \overline{1, \infty}$, причем $\alpha = \alpha(\delta)$. Кроме этого, предположим, что они еще удовлетворяют условиям: 1) $0 \leq r(k, \alpha) \leq 1$ для любых $\alpha \geq 0$ и $k = \overline{1, \infty}$; 2) $r(k, 0) \equiv 1$; 3) для всякого α $\{r(k, \alpha)\} \in l_2$; 4) $\lim_{k \rightarrow \infty} r(k, \alpha) = 0$ равномерно для любого $\alpha \in (0, \alpha_0]$, где α_0 -любое фиксированное положительное число; 5) для всякого k $\lim_{\alpha \rightarrow 0} r(k, \alpha) = 1$ не убывая; 6) для любого k $r(k, \alpha)$ - монотонно убывающая по α функция и $\lim_{\alpha \rightarrow \infty} r(k, \alpha) = 0$; 7) для каждого $\alpha > 0$

$\left\{ r(k, \alpha) \cdot \frac{T_{1k}(t, \lambda_k)}{\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)} \right\}$ и $\left\{ r(k, \alpha) \cdot \frac{T_{2k}(t, \lambda_k)}{\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)} \right\}$ принадлежат l_2 при всяком фиксированном

$t \in [0, t_0]$. Если положить, например, $r(k, \alpha) = \frac{[\gamma_2^2 + (\gamma_1 \lambda_k)^2] \Phi_k(0, t_1, \lambda_k)}{[\gamma_2^2 + (\gamma_1 \lambda_k)^2] \Phi_k(0, t_1, \lambda_k) + \alpha \lambda_k^2}$, где $\{\lambda_k\}$ -не возрастающая последовательность положительных чисел, то условия 1)-7) выполняются.

При этих условиях на $\{r(k, \alpha)\}$ и определенной зависимости $\alpha = \alpha(\delta)$, аналогично [7], показывается, что однопараметрическое семейство вида (6) будет регуляризирующим алгоритмом для решения задачи (1)-(2). Согласно методу регуляризации [8], для этого надо показать, что: а) семейство регуляризирующих алгоритмов вида (6) определено для всех $\tilde{\varphi}(x)$ и $\tilde{\psi}(x)$, находящихся в $\delta > 0$ окрестности функций $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ в

$L_2(0, l)$; б) существует такая зависимость $\alpha = \alpha(\delta)$, что при $\delta \rightarrow 0$ $R(\tilde{\varphi}, \tilde{\psi}, x, t, \alpha(\delta))$ стремится к $u(x, t)$.

Теорема. Пусть функция $u(x, t)$ является точным решением задачи (1)-(2), а $\tilde{\varphi}(x)$ и $\tilde{\psi}(x)$ - непрерывные δ -приближения к функциям $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ в $L_2(0, l)$ и t -заданное положительное число из $[0, t_0]$. Тогда для каждой последовательности $\{r(k, \alpha)\}$ удовлетворяющей условиям 1)-7), однопараметрическое семейство вида (6) является регуляризирующим алгоритмом задачи (1)-(2) и для любого $t \in [0, t_0]$ $\lim_{\delta \rightarrow 0} R(\tilde{\varphi}, \tilde{\psi}, x, t, \alpha(\delta)) = u(x, t)$, причем $\lim_{\delta \rightarrow 0} \alpha(\delta) = 0$. Параметр $\alpha = \alpha(\delta)$ является корнем уравнения

$$\sqrt{s_1(\alpha, t)} + \sqrt{s_2(\alpha, t)} = \frac{\varepsilon \sqrt{l}}{3\sqrt{2}C\delta},$$

$$\text{где } s_1(\alpha, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left| r(k, \alpha) \frac{T_{1k}(t, \lambda_k)}{\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)} \right|^2, \quad s_2(\alpha, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left| r(k, \alpha) \frac{T_{2k}(t, \lambda_k)}{\Phi_k(0, t_0, \lambda_k)} \right|^2.$$

Доказательство теоремы не приведем, поскольку в идейном отношении повторяет схему доказательства аналогичной теоремы работы [7].

Список литературы:

1. Адамар Ж. Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа. – М.: Наука, -1978, -352 с.
2. Смирнов В.И. Курс высшей математики, изд.2, т. IV. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, -1951, -804 с.
3. Иванов В.К., Васин В.В., Танана В.П. Теория линейных некорректных задач и ее приложения. - М.: Наука, -1978, -206 с.
4. Мельникова И.В., Фрейберг А.Ю. О регуляризации краевой задачи для уравнения колебаний. //Журнал вычисли. матем. и матем. физики, -1985, -т.25, -№5, -с.783-788.
5. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Наука, -1981, -544 с.
6. Зорич В.А. Математический анализ, часть 1. - М.: Наука, -1981, -544 с.
7. Джураев Х.Ш. О решениях смешанной задачи для уравнения Лапласа. //ДАН РТ, - 2011, -т.54, -№4, -с.290-295.
8. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, -1986, -288 с.

А. А. Илюхин д.ф.-м.н., А. К. Попов

Таганрогский государственный педагогический институт имени А.П. Чехова
кафедра математического анализа
Россия, г. Таганрог
aleilyukhin@yandex.ru, ASDAlexey@yandex.ru

РАСТЯЖЕНИЕ МИКРОПОЛЯРНОГО ЕСТЕСТВЕННО ЗАКРУЧЕННОГО СТЕРЖНЯ

В рамках работы решена задача Сен-Венана о растяжении естественно закрученного стержня силой, приложенной к свободному торцевому сечению. Решение задачи построено в перемещениях. Найдены компоненты вектора перемещений, тензора напряжений и моментных напряжений, удовлетворяющие граничным условиям на основаниях и боковой поверхности естественно закрученного стержня.

Ключевые слова: растяжение, естественно закрученный стержень, моментная теория упругости, псевдоконтинуум Коссера.

Рассмотрим задачу об упругом равновесии стержня под действием растягивающих усилий, приложенных к торцевому сечению и статически эквивалентных силе P , параллельной оси стержня и приложенной в центре тяжести свободного торцевого сечения. Рассматриваемый стержень подвержен осевому растяжению. Массовыми силами пренебрегаем.

Задача об упругом равновесии стержня при указанных условиях сводится к нахождению компонент тензора напряжений σ_{ij} , удовлетворяющих в области, занятой телом, дифференциальным уравнениям равновесия при отсутствии массовых сил, и граничным условиям.

Начало координат выберем в центре тяжести одного из сечений, оси x и направим по главным осям этого сечения, а за ось z примем ось стержня. При описании деформации упругой микрополярной среды будем использовать криволинейные координаты x^1, x^2, x^3 , связанные с декартовыми координатами x, y, z соотношениями [3],[5]:

$$\begin{aligned}x^1 &= x + \tau_0 y z x^2 = y - \tau_0 x z x^3 = z \\x &= x^1 - \tau_0 x^2 x^3 y = x^2 + \tau_0 x^1 x^3 z = x^3\end{aligned}$$

Величину τ_0 называем естественной круткой. В настоящем исследовании будем считать величину τ_0 малой.

Проекция вектора нормалей $\vec{n}(n_1, n_2, n_3)$ к боковой поверхности естественно закрученного стержня определяются выражениями[5]:

$$n_1 = \frac{dx^2}{dt} n_2 = -\frac{dx^1}{dt} n_3 = \tau_0 (x^2 n_1 - x^1 n_2) \quad (1)$$

Решение в перемещениях поставленной задачи будем искать в виде:

$$\begin{aligned}u_1 &= A_{11}x^1 + A_{12}x^2 + A_{13}x^3 + \\&+ \tau_0 (D_{11}x^1 + D_{12}x^2 + D_{13}x^3 + B_{11}(x^1)^2 + B_{12}x^1x^2 + B_{13}x^1x^3 + B_{22}(x^2)^2 + B_{23}x^2x^3 + B_{33}(x^3)^2) \\u_2 &= A_{21}x^1 + A_{22}x^2 + A_{23}x^3 + \\&+ \tau_0 (C_{11}(x^1)^2 + C_{12}x^1x^2 + D_{21}x^1 + D_{22}x^2 + D_{23}x^3 + C_{13}x^1x^3 + C_{22}(x^2)^2 + C_{23}x^2x^3 + C_{33}(x^3)^2) \\u_3 &= A_{31}x^1 + A_{32}x^2 + A_{33}x^3 \\&+ \tau_0 (p_1\varphi(x^1, x^2) + E_{13}x^1x^3 + E_{23}x^2x^3 + E_{33}(x^3)^2)\end{aligned}$$

где $\varphi(x_1, x_2)$ - некоторая функция, подлежащая определению.

Взаимосвязь компонент ковариантного тензора γ_{ij} деформаций с компонентами векторами перемещений u_i и псевдовектора собственного микроповорота ω^k имеет вид:

$$\gamma_{ij} = u_{i,j} - \epsilon_{kij} \omega^k \quad (2)$$

Псевдовектор микроповорота $\vec{\omega}$ в рамках псевдоконтинуума Коссера связан с вектором перемещений \vec{u} следующими равенствами:

$$\omega^k = \frac{1}{2} \epsilon^{skt} \cdot r_t \cdot \left(\frac{\partial u_k}{\partial x^s} - \Gamma_{sk}^m \cdot u_m \right) \quad (3)$$

Символы Кристоффеля Γ_{sk}^m второго рода равны:

$$\begin{aligned} \Gamma_{11}^1 = \Gamma_{12}^1 = \Gamma_{13}^1 = \Gamma_{22}^1 = \Gamma_{33}^1 = \Gamma_{11}^2 = \Gamma_{12}^2 = \Gamma_{22}^2 = \Gamma_{23}^2 = \Gamma_{33}^2 = \Gamma_{11}^3 = \Gamma_{12}^3 = \Gamma_{13}^3 = 0 \quad \Gamma_{22}^3 \\ = \Gamma_{23}^3 = \Gamma_{33}^3 = 0 \quad \Gamma_{23}^1 = -\tau_0 \Gamma_{13}^2 = \tau_0 \end{aligned}$$

Ковариантные компоненты тензора деформаций с учетом равенств (3) и (4) и значений символов Кристоффеля второго рода имеют вид:

$$\begin{aligned} \gamma_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x^1} \gamma_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x^2} \gamma_{33} = \frac{\partial u_3}{\partial x^3} \gamma_{12} = \gamma_{21} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x^2} + \frac{\partial u_2}{\partial x^1} \right) \\ \gamma_{13} = \gamma_{31} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x^3} + \frac{\partial u_3}{\partial x^1} \right) - \tau_0 u_2 \quad \gamma_{23} = \gamma_{32} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial x^3} + \frac{\partial u_3}{\partial x^2} \right) + \tau_0 u_1 \end{aligned}$$

Если среда изотропная, то закон Гука принимает вид [3]:

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \gamma_{ij} + (\mu - \alpha) \gamma_{ij} + (\mu + \alpha) \gamma_{ji} \quad \mu_{ij} = \epsilon \delta_{ij} \kappa_{ij} + (\nu - \beta) \kappa_{ij} + (\nu + \beta) \kappa_{ji} \quad (4)$$

Компоненты псевдотензора изгиба – кручения и псевдовектора собственного микроповорота связаны равенствами:

$$\kappa_{ji} = \omega_{i,j} \text{ или } \kappa_{ji} = \frac{\partial \omega_i}{\partial x_j} - \Gamma_{ij}^k \omega_k$$

Уравнения равновесия микрополярной среды при отсутствии массовых сил и моментов запишем при помощи тензора напряжений σ^{ij} и моментных напряжений μ^{ij} [2],[4]:

$$\sigma_{j,j}^{ji} = 0 \quad \mu_{j,j}^{ji} + \epsilon^{ijk} \sigma_{jk} = 0 \quad (5)$$

где по повторяющимся индексам ведётся суммирование от 1 до 3.

Первая группа уравнений равновесия, учитывая значения компонент тензора напряжений (5), полученных после подстановки (2)-(4) в (5) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} & [- (2\mu (C_{11} + 2(C_{33} + A_{13})) + 2(\lambda + 2 \cdot \mu) E_{23} + (\mu + 2\lambda) B_{12} + 4(\lambda + \mu) C_{22}) x^1 + \\ & + (4(\lambda + \mu) B_{11} + (\mu + 2\lambda) C_{12} + 2(\lambda + 2 \cdot \mu) E_{13} + 2\mu (B_{22} + 2(B_{33} - A_{23}))) x^2] \tau_0^2 + \\ & + (2\mu (A_{12} - A_{21}) + (\lambda + \mu) (C_{23} + B_{13}) + 2(\lambda + 2 \cdot \mu) E_{33} + \mu p_1 \Delta \varphi (x^1, x^2)) \tau_0 = 0 \\ & [- (2(C_{33} + A_{13}) + E_{23}) \mu x^3 - \mu p_1 \frac{\partial \varphi (x^1, x^2)}{\partial x^2} + \left(2(A_{22} - A_{11}) - 2(B_{23} + C_{13}) - p_1 \frac{\partial^2 \varphi (x^1, x^2)}{\partial x^2 \partial x^1} \right) \mu x^1 + \\ & - \left(\mu D_{23} - 2\lambda (C_{23} + B_{13}) - 4\mu (B_{13} - A_{21}) - 4(\lambda + \mu) E_{33} - \mu p_1 \left(2 \frac{\partial^2 \varphi (x^1, x^2)}{\partial (x^1)^2} + \frac{\partial^2 \varphi (x^1, x^2)}{\partial (x^2)^2} \right) \right) x^2] \tau_0^2 + \\ & + (2(\lambda + 2 \cdot \mu) B_{11} + (\lambda + \mu) \cdot (C_{12} + E_{13}) + \mu (2 \cdot (B_{22} + B_{33}) - 3 \cdot A_{23})) \tau_0 = 0 \\ & [- \left(2\lambda (C_{23} + B_{13}) + 4\mu (C_{23} + A_{12}) + 4(\lambda + \mu) E_{33} + \mu p_1 \left(2 \cdot \frac{\partial^2 \varphi (x^1, x^2)}{\partial (x^2)^2} + \frac{\partial^2 \varphi (x^1, x^2)}{\partial (x^1)^2} \right) \right) x^1 + \\ & + \left(p_1 \left(\frac{\partial^2 \varphi (x^1, x^2)}{\partial x^2 \partial x^1} \right) + 2(A_{11} - A_{22}) + 2(B_{23} + C_{13}) \right) \mu x^2 + (E_{13} + 2(B_{33} - A_{23})) \mu x^3] \tau_0^2 + \\ & (\mu p_1 \frac{\partial \varphi (x^1, x^2)}{\partial x^1} + \mu D_{13}) \tau_0^2 + (2(\lambda + 2 \cdot \mu) C_{22} + (\lambda + \mu) \cdot (B_{12} + E_{23}) + \mu (2 \cdot (C_{11} + C_{33}) + 3 A_{13})) \tau_0 = 0 \end{aligned}$$

Аналогично вторая группа уравнений равновесия, с учетом значения компонент тензора напряжений и моментных напряжений, также приводится виду:

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{(3\nu+\beta)}{2}(E_{13}-2B_{33}) + \frac{(\nu+\beta)A_{23}}{2} - \frac{(\nu-\beta)}{2}(C_{12}-B_{22}) \right) \tau_0^2 + \frac{(\nu+\beta)p_1}{2} \frac{\partial}{\partial x^2} (\Delta\varphi(x^1, x^2)) \tau_0 = 0 \\
& \left(\frac{(3\nu+\beta)}{2}(E_{23}-2C_{33}) - \frac{(\nu+\beta)A_{13}}{2} - \frac{(\nu-\beta)}{2}(B_{12}-C_{11}) \right) \tau_0^2 - \frac{(\nu+\beta)p_1}{2} \frac{\partial}{\partial x_1} (\Delta\varphi(x^1, x^2)) \tau_0 = 0 \\
& \quad \left((2C_{33}-E_{23})x_1 + 2(E_{13}-2B_{33})x_2 \right) \nu\tau_0^3 + \\
& + (\nu+\beta) \left(\frac{1}{2} \left(x_1 \frac{\partial}{\partial x_1} (\Delta\varphi(x^1, x^2)) + x_2 \frac{\partial}{\partial x_2} (\Delta\varphi(x^1, x^2)) \right) + 2(A_{12}-A_{21}) - (B_{13}+C_{23}) + p_1\Delta\varphi(x^1, x^2) \right) \tau_0^2 = 0
\end{aligned}$$

Так как уравнения равновесия представлены в виде разложения в ряд по степеням параметра τ_0 , то коэффициенты, стоящие при соответствующих степенях параметра τ_0 должны равняться нулю. Учитывая независимость компонент x^1, x^2, x^3 друг от друга, константы, стоящие при соответствующих независимых переменных, также приравняем нулю.

$$\begin{aligned}
2(\lambda+2\cdot\mu)B_{11} + (\lambda+\mu)\cdot(C_{12}+E_{13}) + \mu(2\cdot(B_{22}+B_{33})-3\cdot A_{23}) &= 0 \\
2(C_{33}+A_{13})+E_{23} &= 0 \quad E_{13}+2(B_{33}-A_{23}) &= 0 \\
2(\lambda+2\cdot\mu)C_{22} + (\lambda+\mu)\cdot(B_{12}+E_{23}) + \mu(2\cdot(C_{11}+C_{33})+3A_{13}) &= 0 \\
2\mu(C_{11}+2(C_{33}+A_{13})) + 2(\lambda+2\cdot\mu)E_{23} + (\mu+2\lambda)B_{12} + 4(\lambda+\mu)C_{22} &= 0 \\
4(\lambda+\mu)B_{11} + (\mu+2\lambda)C_{12} + 2(\lambda+2\cdot\mu)E_{13} + 2\mu(B_{22}+2(B_{33}-A_{23})) &= 0 \\
2C_{33}-E_{23} &= 0 \quad E_{13}-2B_{33} &= 0 \\
(3\nu+\beta)(E_{13}-2B_{33}) + (\nu+\beta)A_{23} - (\nu-\beta)(C_{12}-B_{22}) &= 0 \\
(3\nu+\beta)(E_{23}-2C_{33}) - (\nu+\beta)A_{13} - (\nu-\beta)(B_{12}-C_{11}) &= 0
\end{aligned} \tag{6}$$

Граничные условия на основаниях естественно закрученного стержня:

$$V_1 = 0V_2 = 0V_3 = P \quad M_1 = M_2 = M_3 = 0 \tag{7}$$

Из формул (8) две группы граничных условий на основаниях естественно закрученного стержня представимы следующим образом:

$$\begin{aligned}
& \left(((C_{23}+B_{13})\lambda + 2(\lambda+2\mu)E_{33})\ell + (D_{11}+D_{22})\lambda \right) \tau_0 + (A_{11}+A_{22})\lambda + (\lambda+2\mu)A_{33} = \frac{P}{S} = p \\
& 2((\lambda(B_{12}+2C_{22}) + (\lambda+2\mu)E_{23})I_{11} + \nu S\tau_0 \cdot (-(2(B_{33}-A_{23})\ell) - 2\cdot D_{13} - 2B_{33}\ell) + \\
& S(\nu((E_{23}-A_{13}-B_{12}) + 2(C_{11}-C_{33})) - \beta(2(C_{11}+C_{33}) + A_{13}-B_{12}-E_{23}) - \nu A_{13})) = 0 \\
& 2(-(\lambda(C_{12}+2B_{11}) + (\lambda+2\mu)E_{13})I_{22} + \nu S\tau_0 (-(2(C_{33}+A_{13})\ell) - 2D_{23} - 2C_{33}\ell) + \\
& S(\nu(C_{12}+2B_{33}-A_{23}-2B_{22}-E_{13}) - \beta(-2(B_{22}+B_{33}) + A_{23}+C_{12}+E_{13}) - \nu A_{23})) = 0 \\
& p_1T + \mu((C_{13}+2A_{11})I_{22} + (-B_{23}+2A_{22})I_{11}) + \cdot S(C_{13}-B_{23}) = 0 \\
& \tau_0 \int_S \frac{\partial\varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2} dS = -\left(((2(C_{33}+A_{13})+E_{23})\ell + D_{23})\tau_0 + A_{23} \right) \frac{S}{p_1} \\
& \tau_0 \int_S \frac{\partial\varphi(x^1, x^2)}{\partial x^1} dS = -\left(((2(B_{33}-A_{23})+E_{13})\ell + D_{13})\tau_0 + A_{13} \right) \frac{S}{p_1} \\
& T = \mu \int_S \left(x^1 \frac{\partial\varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2} - x^2 \frac{\partial\varphi(x^1, x^2)}{\partial x^1} + (x^1)^2 + (x^2)^2 \right) dS
\end{aligned} \tag{8}$$

Первая группа граничных условий на боковой поверхности естественно закрученного стержня имеет вид:

$$(\sigma^{1k} + \tau_0 x^2 \sigma^{3k})n_1 + (\sigma^{2k} - \tau_0 x^1 \sigma^{3k})n_2 = 0 \tag{9}$$

Третье уравнение первой группы граничных условий на боковой поверхности естественно закрученного стержня сводится к задачи Неймана:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial n} = & \frac{1}{\mu p_1} [(- (2A_{11} + C_{13})\mu + 3\lambda A_{11} + (3\lambda + 2\mu)A_{22} + (4\mu + 3\lambda)A_{33})x^1 - \\ & - (C_{23} + 3 \cdot A_{12} + A_{21})\mu x^2 - (2C_{33} + E_{23})\mu x^3 - D_{23}\mu \frac{dx^1}{dl} + ((B_{13} + 3 \cdot A_{21} + A_{12})\mu x^1 + \\ & + (\mu(2A_{22} - B_{23}) - (3\lambda + 2\mu)A_{11} - 3\lambda A_{22} - (4\mu + 3\lambda)A_{33})x^2 - \\ & - \mu(2B_{33} + E_{13})x^3 - \mu \cdot D_{13}) \frac{dx^2}{dl}] \end{aligned} \quad (10)$$

Задача определения функции $\varphi(x^1, x^2)$ есть, таким образом, задача Неймана (11) для уравнения Пуассона:

$$\Delta \varphi = \frac{1}{\mu p_1} (2\mu(A_{21} - A_{12}) - (\lambda + \mu)(C_{23} + B_{13}) - 2(\lambda + 2\mu)E_{33}) \quad (11)$$

С учетом взаимосвязей между константами (6),(8) равенство (11) преобразуется к виду:
 $\Delta \varphi = 0$

Вторая группа граничных условий на боковой поверхности естественно закрученного стержня имеет вид:

$$(\mu^{1k} + \tau_0 x^2 \mu^{3k})n_1 + (\mu^{2k} - \tau_0 x^1 \mu^{3k})n_2 = 0 \quad (12)$$

Первое и второе равенства (13), с учетом значений компонент тензора напряжений и интегрирования от точки к точке контура ℓ примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^1} = & \frac{1}{\nu p_1} [C_1 + [- \left((2(C_{11} - C_{33}) + E_{23} - B_{12} - A_{13}) \frac{3\nu}{2} + (-2(C_{33} + C_{11})B_{12} + E_{23} - A_{13}) \frac{\beta}{2} \right) \frac{(x^2)^2}{2} \\ & + \left((2(C_{33} - C_{11}) + B_{12} - E_{23} + A_{13})\nu + \beta(2(C_{33} + C_{11}) - E_{23} - B_{12} + A_{13}) \right) \frac{(x^1)^2}{2}] \tau_0 + \\ & + \nu C_{13} \cdot x_2 + x^1 \cdot \left(- \frac{(\nu + \beta)}{2} \cdot \left(\frac{1}{\mu \cdot p_1} \cdot [2\mu(A_{12} - A_{21}) + (\lambda + \mu)(C_{23} + B_{13}) + 2(\lambda + 2\mu)E_{23}] \right) \right) + \\ & + (B_{13} - C_{23}) \frac{\nu}{2} + (2(A_{12} - A_{21}) - (B_{13} + C_{23})) \frac{\beta}{2}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2} = & \frac{1}{\nu p_1} [C_2 + [\left((2(B_{22} - B_{33}) + A_{23} + E_{13} - C_{12}) \frac{3\nu}{2} + (-2(B_{22} + B_{33}) + A_{23} + C_{12} + E_{13}) \frac{\beta}{2} \right) \frac{(x^1)^2}{2} + \\ & + \left((A_{23} - 2B_{33} + 2B_{22} + E_{13} - C_{12})\nu + (-2B_{22} + C_{12} - 2B_{33} + A_{23} + E_{13})\beta \right) \frac{(x^2)^2}{2}] \tau_0 + p_1 \nu B_{23} x^1 - \\ & - x^2 \cdot [(B_{13} - C_{23}) \frac{\nu}{2} + (2 \cdot (A_{21} - A_{12}) + B_{13} + C_{23}) \frac{\beta}{2} \\ & + \frac{(\nu + \beta)}{2} \cdot \left(\frac{1}{\mu \cdot p_1} \cdot [2\mu(A_{12} - A_{21}) + (\lambda + \mu)(C_{23} + B_{13}) + 2(\lambda + 2\mu)E_{33}] \right)] \end{aligned}$$

Для разрешимости граничной задачи Неймана (11) должна выполняться взаимосвязь:

$$B_{13} - C_{23} = 2 \cdot (A_{12} - A_{21}) \quad (13)$$

Таким образом, каждая из двух групп граничных условий на боковой поверхности естественно закрученного стержня приводит к одинаковой для каждой из групп задаче Неймана для уравнения Лапласа.

Первые граничных условия (9) и третье граничное условие (12) на боковой поверхности естественно закрученного стержня, удовлетворяется тождественно выбором констант. В результате получаем следующие взаимосвязи между константами:

$$A_{11} = -\frac{\lambda p_1}{2\mu(3\lambda+2\mu)}, A_{22} = -\frac{\lambda p_1}{2\mu(3\lambda+2\mu)}, A_{33} = \frac{(\lambda+\mu)p_1}{\mu(3\lambda+2\mu)}, D_{22} = \frac{(p-p_1)(\lambda+2\mu)}{2\mu\tau_0\lambda},$$

$$B_{23} = \frac{p_1((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S}, C_{13} = -B_{23}, D_{11} = -\frac{p-p_1}{2\mu\tau_0}$$

Остальные константы равны нулю.

При совпадении p и p_1 компоненты вектора перемещений и вектора собственного микроповорота примут вид:

$$u_1 = -\frac{\lambda p_1}{2\mu(3\lambda+2\mu)}x^1 + \tau_0 \frac{p_1((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S}x^2x^3$$

$$u_2 = -\frac{\lambda p_1}{2\mu(3\lambda+2\mu)}x^2 - \tau_0 \frac{p_1((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S}x^2x^3 \quad u_3 = \frac{(\lambda+\mu)p_1}{\mu(3\lambda+2\mu)}x^3 + \tau_0 p_1 \cdot \varphi(x^1, x^2)$$

В результате получаем значения компонент тензора напряжений:

$$\sigma_{33} = p_1$$

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{12} = \sigma_{21} = 0$$

$$\sigma_{13} = \sigma_{31} = \left(\tau_0 p_1 \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^1} + \left(\frac{p_1((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} + \frac{\lambda p_1}{\mu(3\lambda+2\mu)} \right) x^2 \tau_0 \right) \mu$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{32} = \left(\tau_0 p_1 \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2} - \left(\frac{p_1((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} + \frac{\lambda p_1}{\mu(3\lambda+2\mu)} \right) x^1 \tau_0 \right) \mu$$

И значения компонент тензора моментных напряжений:

$$\mu_{11} = p_1 \nu \tau_0 \left(\frac{\partial^2 \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2 \partial x^1} + \frac{((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} \right)$$

$$\mu_{22} = p_1 \nu \tau_0 \left(\frac{((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} - \frac{\partial^2 \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2 \partial x^1} \right)$$

$$\mu_{33} = \frac{2p_1(\lambda I_p - (3\lambda+2\mu)T)\nu \tau_0}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} \quad \mu_{12} = \mu_{21} = -\frac{\tau_0 p_1}{2} \left((v+\beta) \frac{\partial^2 \varphi(x^1, x^2)}{\partial (x^1)^2} - (v-\beta) \frac{\partial^2 \varphi(x^1, x^2)}{\partial (x^2)^2} \right)$$

$$\mu_{13} = \mu_{31} = \nu p_1 \left(\frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^1} - \frac{((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} x^2 \right) \tau_0^2$$

$$\mu_{23} = \mu_{32} = \nu p_1 \left(\frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2} + \frac{((3\lambda+2\mu)T - I_p\lambda)}{(3\lambda+2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda+2\mu)\nu S} x^1 \right) \tau_0^2$$

Следовательно, в каждой точке стержня мы получили чистый сдвиг, определяемый компонентами тензора напряжений $\sigma_{13}, \sigma_{31}, \sigma_{23}, \sigma_{32}$

Можно видеть, что относительно напряжений возникают нормальные напряжения, действующие между продольными волокнами стержня или в направлении самих волокон. Также возникают искажения плоскостей поперечных сечений (депланация поперечного сечения стержня), поскольку $\gamma_{11}, \gamma_{22}, \gamma_{33}, \gamma_{12}, \gamma_{21}$ не обращаются в нуль.

В отличие от классической задачи растяжения естественно закрученного стержня, без учета моментных напряжений, представленного, например, в работах Риза П.М. [5], формулы определяющие компоненты тензора напряжений имеют вид:

$$\sigma_{33} = p \quad \sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{12} = \sigma_{21} = 0$$

$$\sigma_{13} = \sigma_{31} = p\tau_0 \left(\frac{I_p}{T} \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^1} - x^2 \left(\frac{I_p}{T} - 1 \right) \right) \quad \sigma_{23} = \sigma_{32} = p\tau_0 \left(\frac{I_p}{T} \frac{\partial \varphi(x^1, x^2)}{\partial x^2} + x^1 \left(\frac{I_p}{T} - 1 \right) \right)$$

Среднее значение кручения для всего поперечного сечения, обозначаемое через τ , определяется формулой:

$$\tau = \frac{1}{S} \int_S \kappa_{x_3 x_3} dS = \frac{\tau_0}{2S} \int_S (C_{13} - B_{23}) dS = \frac{p_1 (\lambda I_p - (3\lambda + 2\mu)T) \tau_0}{S((3\lambda + 2\mu)\mu I_p + 2(3\lambda + 2\mu)\nu S)}$$

Окончательные формулы, получившиеся с учетом моментных напряжений, отличаются тем, что:

Деформация поперечного сечения стержня определяется не только соответствующими классическому случаю компонентами силовых напряжений $\sigma_{13}, \sigma_{31}, \sigma_{23}, \sigma_{32}$, но и компонентами моментных напряжений $\mu_{11}, \mu_{22}, \mu_{12}, \mu_{21}$

Первая и вторая компоненты вектора перемещений зависят не только от величины растягивающих усилий p , но и от геометрии стержня.

Среднее значение кручения для всего поперечного сечения зависит не только от полярного момента и величины T , но и от площади поперечного сечения S .

Список литературы:

1. Риз П.М. Деформация естественно закрученных стержней. — Доклады АН СССР, 1939, т.3, № 4, с.451.
2. Илюхин А.А., Щепин Н.Н., К моментной теории упругости // Известия СКНЦ ВШ Естеств. Науки, 2001.
3. Лурье А.И., Джанелидзе Г.Ю. Задача Сен-Венана для стержней, близких к призматическим. ДАН, т. XXIV, № 1–№ 3, 1939.
4. Пальмов В.А. Основные уравнения теории несимметричной упругости // ПММ. 1964. Т. 28, № 3. С. 401-408.
5. Устинов Ю.А. Задачи Сен-Венана для псевдоцилиндров. М.: Физматлит, 2003 - с.55

А. А. Илюхин д.ф.-м.н., С. А. Шретер

Таганрогский государственный педагогический институт имени А.П. Чехова
Россия, г. Таганрог
aleilyukhin@yandex.ru

ПОВЕДЕНИЕ ПЛАСТИНКИ НА УПРУГОМ СТЕРЖНЕ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОТОКЕ

Основная идея используемого в данной работе метода построения решения нелинейной задачи теории упругих стержней состоит в сведении исходного уравнения Кирхгофа к системе уравнений гамильтонова типа с последующей нормализацией функции Гамильтона в определенном числе членов. Предложено также строить обратное преобразование Биркгофа для упрощения решения краевой двухточечной задачи. Указан и программно реализован алгоритм численного построения зависимости угла атаки пластинки от скорости набегающего потока.

Ключевые слова: гамильтонов подход, преобразование Биркгофа, изгиб стержня, математическая модель, аэродинамические силы.

Рассмотрена задача об изгибе потоком воздуха стержня, жестко закрепленного нижним концом, к верхнему концу которого жестко прикреплена абсолютно твердая пластинка. Предполагается, что поток воздействует только на пластинку, изгиб стержня происходит в одной плоскости.

Цель работы: получив решение уравнения равновесия, установить зависимость между аэродинамическими силами и углом поворота пластинки (углом атаки α_T), тем самым построить математическую модель эксперимента в аэродинамической трубе.

Силу воздействия \vec{R} потока на пластинку представим в виде суммы двух векторов: $\vec{R} = \vec{S} + \vec{P}$, где \vec{S} - сила сопротивления, \vec{P} - подъемная сила, $\vec{S} \parallel \vec{V}$, $\vec{P} \perp \vec{V}$. Для аэродинамических сил возьмем зависимости: $\vec{S} = \frac{\rho}{2} s(\alpha) V \vec{V}$, $\vec{P} = \frac{\rho}{2} p(\alpha) (\vec{i} \times \vec{V})$, где ρ - плотность воздуха, α - угол атаки, $\vec{i}, \vec{j} \perp \vec{V}$ - единичный вектор, лежащий в плоскости пластинки. Функции $s(\alpha)$, $p(\alpha)$ - коэффициенты аэродинамических сил, зависят от формы и размеров пластинки и определяются экспериментально [1]. К стержню кроме силы \vec{R} приложен момент M : $M = \frac{\rho}{2} d(\alpha) (pV \cos \alpha + sV^2 \sin \alpha)$, где $d(\alpha)$ - расстояние от центра давления до точки крепления пластинки и стержня.

Уравнение равновесия Кирхгофа представленной системы имеет вид:

$$B \frac{d^2 \theta}{dl^2} + \frac{\rho}{2} s V^2 \sin \theta + \frac{\rho}{2} p V \cos \theta = 0 \quad (1)$$

Гамильтонов подход.

Для преобразования уравнения равновесия (1) к системе двух уравнений Гамильтона поступим формально: выберем обобщенную координату θ (в качестве θ возьмем угол $\theta(l)$ наклона касательной оси стержня к оси Ox , $Ox \parallel \vec{V}$), укажем сопряженный координате импульс p_θ и приведем соответствующую такому выбору функцию Гамильтона. Получим систему двух уравнений Гамильтона с функцией H в виде:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{B} p_\theta, \quad \frac{dp_\theta}{dt} = -\frac{1}{2} \rho s V^2 \sin \theta - \frac{1}{2} \rho p V \cos \theta \quad (2)$$

$$H = \frac{1}{2B} p_\theta^2 - \frac{1}{2} \rho s V^2 \cos \theta + \frac{1}{2} \rho p V \sin \theta \quad (3)$$

Канонической заменой $\zeta = \theta + \delta$, $p_\zeta = p_\theta$, из системы (2) получим (4):

$$\frac{d\zeta}{dl} = \frac{p_\zeta}{B}, \frac{dp_\zeta}{dl} = -\frac{1}{2}R \sin \zeta, \text{ где } R = \rho s V \sqrt{V^2 + (p/s)^2} \quad (4)$$

а функция Гамильтона (3) в канонических переменных будет иметь вид:

$$H = \frac{p_\zeta^2}{2B} - \frac{1}{2}R \cos \zeta$$

Система (4) допускает тривиальное решение $\zeta = 0, p_\zeta = 0$. Решение, отличное от тривиального, найдем методом нормальных форм. Получим нормализованную функцию Гамильтона, перейдем в ней к комплексно сопряженным каноническим переменным $p = p_\zeta + i\zeta, q = p_\zeta - i\zeta$, причем необходимо учесть валентность такого преобразования $\bar{H} = -2iH$. Здесь \bar{H} - новая функция Гамильтона, которая в переменных p и q имеет вид:

$$\bar{H} = -i \left[pq - \frac{1}{96}(p^4 - 4p^3q + 6p^2q^2 - 4pq^3 + q^4) \right] \quad (5)$$

При отсутствии соответствующих резонансов [2] в системе (4), функцию Гамильтона \bar{H} (5) каноническим преобразованием приведем к нормальной форме. В качестве канонического выберем преобразование Биркгофа с соответствующей порождающей функцией

$$p = u + \frac{\partial S_4(u,v)}{\partial v}, \quad q = v - \frac{\partial S_4(u,v)}{\partial u}$$

$$S_4 = S_{04}v^4 + S_{13}uv^3 + S_{22}u^2v^2 + S_{31}u^3v + S_{40}u^4$$

Специальным выбором коэффициентов порождающей функции приводим функцию Гамильтона (5) к нормальному виду в переменных u и v

$$H_* = -i(uv - \frac{1}{16}u^2v^2) \quad (6)$$

Соответствующая система дифференциальных уравнений с функцией Гамильтона (6) допускает общий интеграл $r = uv = const$, что дает возможность представить точное решение этой системы в явном виде

$$v = (a + ib)e^{iml}, \quad u = (a - ib)e^{-iml}, \text{ где } m = i \frac{\partial H_*}{\partial (uv)} = const,$$

В результате получаем зависимость p'_ζ и ζ' от дуговой координаты l :

$$p'_\zeta = \left(a - \frac{1}{16}(a^2 + b^2)a \right) \cos ml + \left(-b + \frac{1}{16}(a^2 + b^2)b \right) \sin ml + \frac{1}{32}a(a^2 - 3b^2) \cos 3ml + \frac{1}{32}b(b^2 - 3a^2) \sin 3ml$$

$$\zeta' = \left(-b - \frac{1}{16}(a^2 + b^2)b \right) \cos ml + \left(-a - \frac{1}{16}(a^2 + b^2)a \right) \sin ml + \frac{1}{96}b(b^2 - 3a^2) \cos 3ml + \frac{1}{96}a(-a^2 + 3b^2) \sin 3ml$$

Откуда, находим решение поставленной задачи: $\alpha_T = \alpha_0 + \sqrt{2}\zeta'(L) - \delta - \psi$.

Для определения постоянных интегрирования a и b воспользуемся граничными условиями в новых переменных и системой для p'_ζ и ζ' .

Обратное преобразование Биркгофа.

Построенное решение задачи зависит от постоянных интегрирования a и b , и при подстановке граничных значений в это решение получаем систему нелинейных алгебраических уравнений. Однако, когда известны значения исходных переменных при $l = 0$, нет необходимости решать нелинейную систему. Явный вид a и b можно получить, используя обратное преобразование Биркгофа [3,4]:

$$u = p - \frac{1}{96}(q^3 - 6pq^2 + 2p^3), \quad v = q + \frac{1}{96}(-2q^3 + 6p^2q - p^3)$$

Возвращаясь к исходным переменным, получим систему для нахождения неизвестных постоянных, где p'_ζ и ζ' вычисляются при $l = 0$:

$$a - ib = p'_\zeta + i\zeta' - \frac{1}{96}((p'_\zeta - i\zeta')^3 - 6(p'_\zeta + i\zeta')(p'_\zeta - i\zeta')^2 + 2(p'_\zeta + i\zeta')^3)$$

$$a + ib = p'_\zeta - i \zeta' + \frac{1}{96} (-2(p'_\zeta - i \zeta')^3 + 6(p'_\zeta + i \zeta')^2(p'_\zeta - i \zeta') - (p'_\zeta + i \zeta')^3)$$

В том случае, когда p'_ζ и ζ' не заданы одновременно в одной точке, необходимо решать нелинейную систему. Ее предлагается решать методом последовательных приближений. Идея метода состоит в выборе нулевого приближения α_{T_0} , которое соответствует текущей скорости потока. Решая систему, по найденному значению $\zeta'(L)$ (за счет жесткости крепления) находим α_{T_1} . Используем α_{T_1} в качестве приближения на следующем шаге итерации. Как показывают вычисления, каждый шаг итерации уточняет значение угла на один знак после запятой.

Представление решения в виде отрезка ряда по скорости.

Перейдя в уравнении равновесия (1) от θ к переменной $v = \theta - \psi$, представим решение граничной задачи в виде степенного ряда по V :

$$v(l, V) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n(l) V^n \quad (7)$$

Получим приближенное уравнение, с новыми граничными условиями:

$$\frac{1}{2} \rho \sum_{j=1}^3 q_j V^j = 0$$

Где коэффициенты q_j :

$$V: q_1 = \frac{2B}{\rho} \frac{d^2 \mu_1}{dl^2} + p \cos \psi = 0$$

$$V^2: q_2 = \frac{2B}{\rho} \frac{d^2 \mu_2}{dl^2} + s \sin \psi - p \mu_1 \sin \psi = 0 \quad (8)$$

$$V^3: q_3 = \frac{2B}{\rho} \frac{d^2 \mu_3}{dl^2} - \frac{1}{2} p \mu_1^2 \cos \psi + s \mu_1 \cos \psi - p \mu_2 \sin \psi = 0$$

Граничные условия к дифференциальным уравнениям (7).

$$\text{при } l = 0: \mu_n = 0, n = 1, 2, 3 \quad (9)$$

$$\text{при } l = L: \begin{cases} V: \frac{d\mu_1}{dl} = \frac{\rho}{2B} dp \cos \alpha_0 \\ V^2: \frac{d\mu_2}{dl} = \frac{\rho}{2B} d(s - p \mu_1) \sin \alpha_0 \\ V^3: \frac{d\mu_3}{dl} = \frac{\rho}{2B} d \left[\left(s - \frac{p}{2} \mu_1 \right) \mu_1 \cos \alpha_0 - p \mu_2 \sin \alpha_0 \right] \end{cases} \quad (10)$$

Решая задачу (8)-(10), найдем коэффициенты μ_n ряда (7). Таким образом, получаем приближенную зависимость угла атаки от скорости набегающего потока: $\alpha_T = \alpha_0 + \mu_1 V + \mu_2 V^2 + \mu_3 V^3$, где все μ_n вычислены при $l = L$ [5].

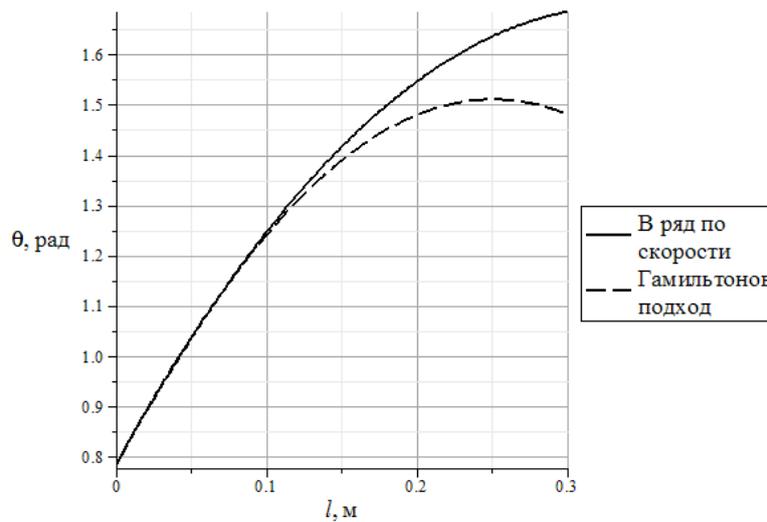


Рис. 1 – Сравнение решений $\theta = \theta(l)$, полученных разными методами.

Выше представлены графические зависимости $\theta = \theta(l)$ для полученного решения, при следующих параметрах стержня, пластинки и потока: $\rho = 1.293 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $p = 0.012 \frac{\text{М}^3}{\text{с}}$, $s = 0.033 \text{ м}^2$, $\psi = \frac{\pi}{4}$, $\alpha_0 = \frac{\pi}{6}$, $L = 0.3 \text{ м}$, $d = 0.05 \text{ м}$, $V = 110 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

С ростом скорости V – набегающего потока графики решений, полученных обоими методами, удаляются друг от друга.

**Таблица. Результаты решения α_T , полученного разными методами:
1,3 – гамильтонов подход, 2,4 – решение в виде отрезка ряда по скорости.**

№	V , м/с	40	50	60	70	80	90	100	110
1	α_T ,	0.566	0.591	0.621	0.668	0.733	0.837	1.032	1.219
2	рад	0.591	0.627	0.672	0.742	0.829	0.964	1.201	1.422
3	α_T ,	32.41	33.79	35.58	38.31	42.01	47.96	59.13	69.85
4	град	33.86	35.97	38.50	42.51	47.51	55.25	68.81	81.47

Стоит отметить, что поток воздуха оказывает стабилизирующее воздействие на пластинку, если с ростом скорости потока воздуха угол атаки уменьшается [5]. Укажем скорости, при которых реализуется разделяющий случай: $V_1 = \frac{-\mu_2 + \sqrt{\mu_2^2 - 3\mu_3\mu_1}}{3\mu_3}$, $V_2 = \frac{-\mu_2 - \sqrt{\mu_2^2 - 3\mu_3\mu_1}}{3\mu_3}$

Здесь V_1, V_2 – скорости, при которых $d\alpha_T/dV = 0$.

Список литературы:

1. Локшин Б.Я., Привалов В.А., Самсонов В.А. Введение в задачу о движении тела в сопротивляющейся среде. М.: МГУ, 1986. 86 с.
2. Арнольд В.И. Дополнительные главы обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1979. 304 с.
3. Илюхин А.А. Пространственные задачи нелинейной теории упругих стержней. К.: Наук. Думка, 1979. 216 с.
4. Биркгоф Г.Д. Динамические системы. М.; Л.: Гостехиздат, 1941. 320 с.
5. Илюхин А.А., Ступко С.А. Приближенное решение задачи о равновесии пластинки на упругом стержне в потоке воздуха // Механика твердого тела. 2000. – Вып. 30. – С. 242-245

А. А. Лопатин к.т.н.

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева институт авиации наземного транспорта и энергетики
кафедра теоретических основ теплотехники
Россия, г. Казань
alekseylopatin@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЕЗНЫХ РЕБЕР В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУШНЫХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке фцп - гк №14.740.11.0320.

В работе представлены результаты исследования теплообмена в вынужденно-конвективных системах охлаждения теплонагруженных элементов радиоэлектронного оборудования. Проведено сравнение тепловой эффективности систем, выполненных на основе гладких и разрезных ребер. Получены зависимости теплового сопротивления от тепловой нагрузки.

Ключевые слова: системы охлаждения, разрезные ребра, теплообмен, интенсификация теплообмена, тепловой поток.

Современное электросиловое и радиоэлектронное оборудование в процессе своей повседневной работе характеризуется значительными тепловыделениями. Для обеспечения безотказного функционирования оборудования во всем диапазоне рабочих режимов необходимо обеспечить постоянное охлаждение наиболее теплонагруженных элементов.

Характерным примером высоко теплонагруженного оборудования могут служить переносные дефектоскопы, применяемые для неразрушающего контроля сварных швов нефте- и газопроводов. Основой такого оборудования является источник ионизирующего излучения, представляющий собой аналог обычной лампы накаливания, в которой большая часть энергии преобразуется в тепло и только примерно около 5% - в «полезное» излучение. В зависимости от режима работы рентгеновского дефектоскопа тепловыделение на аноде трубки может достигать 700-800 Вт с поверхности площадью не более 10 см². В связи с этим вопросы, связанные с охлаждением теплонагруженных элементов радиоэлектронного оборудования являются актуальными и подлежат более детальному рассмотрению.

Некоторые проблемы отвода больших тепловых потоков в элементах промышленного электронного оборудования рассмотрены в [1,2]. В частности в [3,4] приведены данные по тепловой эффективности поверхностей с сетчато-проволочным и пластинчато-просечным оребрением в вынужденной конвекции. Достаточно большое количество исследований в современной литературе посвящено охлаждению компьютерного оборудования. Практически во всех рассмотренных выше исследованиях значение теплового потока не превышало 150-200 Вт. Тем не менее, остается целый ряд вопросов, связанных, прежде всего с интенсификацией теплообмена в промышленном электро- и радиооборудовании, функционирующем при тепловых нагрузках от 200-800 Вт.

Остановимся более подробно на экспериментальных исследованиях теплоотдачи в воздушно-конвективных системах охлаждения рентгеновских дефектоскопов непрерывного действия с различной конфигурацией оребрения.

Основным условием успешной работы рентгеновского дефектоскопа непрерывного действия является строгое соблюдение температурного режима, так как в случае локального

перегрева источника ионизирующего излучения – трубки, возможно, ее физическое разрушение и как следствие выход аппарата из строя. Для стеклянных рентгеновских трубок отечественного производства такой критической температурой является 80°C .

В результате анализа современной литературы определены возможные компоновочные схемы размещения теплоотдающих поверхностей в системах воздушного охлаждения радиоэлектронного оборудования. Наиболее оптимальное с точки зрения гидравлического сопротивления конструкции является осевое размещение ребер.

Для проведения исследований тепловой эффективности воздушно-конвективных систем охлаждения разработан и создан экспериментальный стенд с управлением от ПК, состоящий из нагревателя-имитатора, рабочего участка, средств измерения и контроля рабочих параметров. Внешний вид и принципиальная схема экспериментальной установки представлены на рис.1 и 2.



Рис.1. Внешний вид экспериментальной установки.

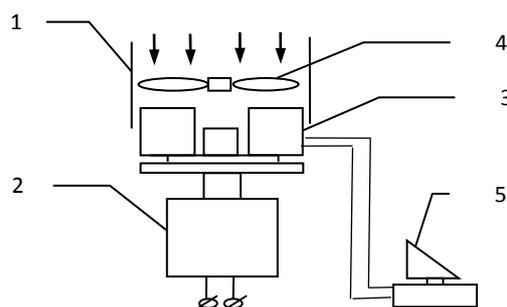


Рис.2. Принципиальная схема экспериментальной установки.
 1 – внешний кожух, 2 – нагреватель-иммитатор, 3 – рабочий участок, 4 – вентилятор, 5 – персональный компьютер.

Экспериментальные исследования проводились на двух рабочих участках, представляющих собой цилиндрическое основание, выполненное из дюралюминиевого сплава, медную осевую втулку, а так же двадцать медных ребер размещенных по осевой схеме через 18° друг от друга. На рис. 3 и 4 представлен внешний вид рабочих участков с плоскими и разрезными ребрами. Рабочий участок с плоскими ребрами, без каких бы то ни было поверхностных интенсификаторов теплообмена, использовался как модельный для сравнения с другими поверхностями.



Рис.3. Внешний вид рабочего участка с плоскими ребрами.



Рис.4. Внешний вид рабочего участка с разрезными ребрами.

Экспериментальные исследования проводились при вынужденной подаче воздуха на рабочий участок. Число Рейнольдса в опытах варьировались в диапазоне от 2000 до 28000 условиях вынужденной конвекции. Такие условия выбраны не случайно. Линейка рентгеновских дефектоскопов непрерывного действия серии «Ратмир» состоит из пяти аппаратов. Наиболее мощным является «Ратмир-250» с полезной мощностью около 1000 Вт и системой охлаждения оснащенной вентилятором. Так как примерно 90% мощности аппарата рассеивается в виде тепла, то соответственно и система охлаждения должна обеспечивать стабильную работу комплекса при тепловой нагрузке не менее 800-900 Вт.

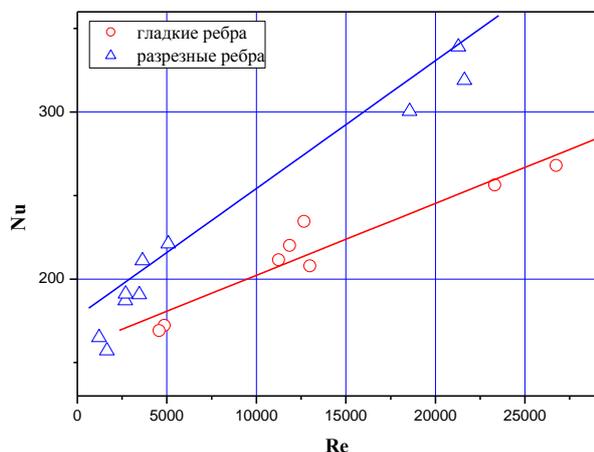


Рис.5. Зависимость числа Nu от числа Re.

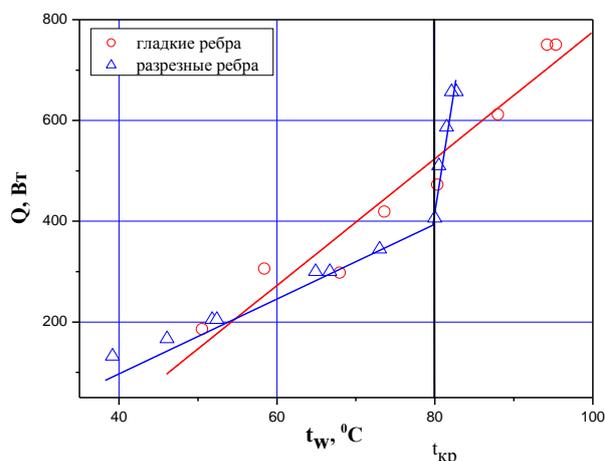


Рис.6. Зависимость подводенного теплового потока от температуры анода рентгеновской трубки.

На рисунке 5 представлена зависимость теплоотдачи для случая вынужденного движения теплоносителя в системах охлаждения, созданных на основе разрезного и плоского ребра. Как следует из графика при умеренных числах Рейнольдса ($Re < 5000$) разница в теплоотдачи между двумя системами не значительна. Но при $Re > 10000$ начинается достаточно резкий рост Nu_p и при $Re \approx 22000$ интенсификация достигает 1,4 раз ($Nu_p/Nu_n \approx 1,4$), что подтверждается результатами [5]. Таким образом, можно отметить, что рабочий участок с разрезными ребрами обладает более высокой тепловой эффективностью, чем система с плоскими ребрами.

Рабочий диапазон температур систем охлаждения при внешнем обдуве воздухом представлен рисунке 6. Из графика видно, что системы на основе плоских и разрезных ребер при $t_{кр} = 80^\circ\text{C}$ способна отвести ≈ 500 Вт, что недостаточно для стабильной работы аппарата «Ратмир-250». Следовательно, системы, построенные на разрезных ребрах возможно применять для дефектоскопов средней и малой мощности ($Q \leq 600$ Вт). Низкую тепловую эффективность разрезных ребер в выбранном диапазоне тепловых нагрузок и расходов можно объяснить опережающим ростом гидравлического сопротивления по сравнению с теплоотдачей, так как воздушный поток в значительной степени турбулизирован а при отсутствии увеличения площади теплообмена перемешивание не играет доминирующую роль.

Основным параметром, характеризующим качество систем охлаждения, является тепловое сопротивление ($\Delta t/Q$). Из рис.7 следует, что во всем диапазоне тепловых нагрузок тепловое сопротивление систем собранных на плоских и разрезных ребрах практически не отличаются друг от друга, а за счет простоты и технологичности изготовления плоские ребра являются более предпочтительными.

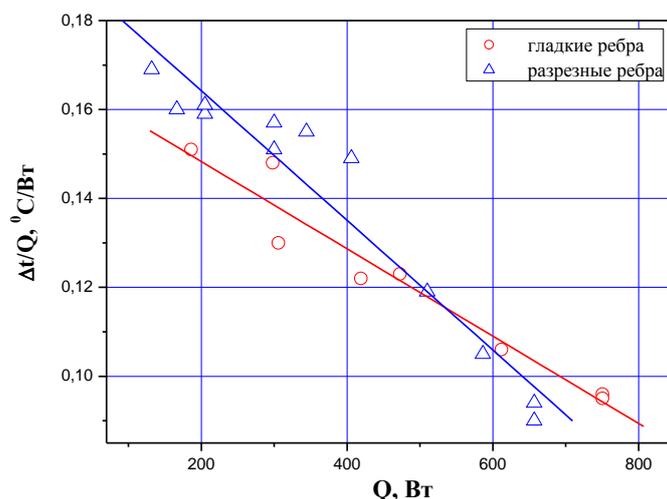


Рис. 7. Зависимость теплового сопротивления от тепловой нагрузки.

Список литературы:

1. Лопатин А.А., Щелчков А.В. Интенсификация теплообмена в системах охлаждения рентгеновских аппаратов непрерывного действия. РНКТ 5, Москва, 2008 г., Том 6, с.113-116.
2. Лопатин А.А., Щелчков А.В., Ульянова Р.А. Сравнительный анализ воздушных систем охлаждения рентгеновских аппаратов непрерывного действия. РНКТ 5, Москва, 2008 г., Том 6, с.110-113.
3. Письменный Е.Н., Бурлей В.Д., Баранюк А.В., Терех А.М., Полупан Г.П., Карвахал М.И., Сильва Ф.С. Тепловая эффективность поверхности с пластинчато-просеченным оребрением. РНКТ 4, Москва 2006 г., Том 6, с. 281-284.
4. Письменный Е.Н., Этик Э.Я., Баранюк А.В., Терех А.М., Бурлей В.Д. Структура потока в полукрытых плоских каналах с разрезными стенками элементов охлаждения РЭА. Пром. Теплотехника, 2007, т. 29, №4, с. 45-52.
5. Гортышов Ю.Ф., Попов И.А., Олимпиаев В.В., Щелчков А.В., Каськов С.И. Интенсификация теплообмена. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования // Издательство «Центр инновационных технологий». 2009. Казань. 530 с.

Е. С. Мясникова

Московский государственный строительный университет,
Институт фундаментального образования, кафедра «Сопrotивление материалов»
Россия, г. Москва
Helen.butcher@ya.ru

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕЛИНЕЙНО И ЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО ОСНОВАНИЯ

В статье приведены результаты сравнения перемещений нелинейно-деформируемого основания под равномерно распределенной нагрузкой, полученных численным и аналитическим методом. Определена вероятность отказа нелинейно и линейно деформируемого основания.

Ключевые слова: надежность, нелинейно деформируемое основания, вероятность отказа основания.

Сегодня существует множество методов расчета осадок фундаментов зданий и сооружений. Большинство из них основано на линейном упругом детерминированном подходе.

Однако, в настоящее время, когда возможности строительной науки позволяют отказаться от типовых проектов в пользу уникальных, в том числе высотных, зданий, такой подход не всегда оправдан.

Основания высотных зданий находятся под большим давлением, что в большинстве случаев приводит к развитию пластических деформаций. То же можно сказать и про конструкции, строящиеся в сейсмически активных районах, так как действие динамической нагрузки быстро переводит грунт в пластическую стадию работы.

Свойства грунта неодинаковы во всех точках, поэтому, даже подробные результаты геологических испытаний не могут дать исчерпывающих сведений о прочностных и деформативных свойствах основания. Но эту проблему можно решить, приняв характеристики грунта случайными.

Была решена задача о действии равномерно распределенной нагрузки площадью 4x4м на линейно и нелинейно деформируемое основание.

Модуль деформации основания – $E=25\text{МПа}$; коэффициент Пуассона $\nu=0.3$; удельное сцепление $c=3.4 \cdot 10^{-2}\text{МПа}$; угол внутреннего трения $\varphi=23^\circ$. На основание действует распределенная нагрузка $q=250\text{кН/м}^2$.

Определение напряженно деформированного состояния массивов, сложенных из нелинейно деформируемых грунтов, вызывает трудности вычислительного характера. Для получения приближенного аналитического решения введем следующие допущения.

1) Для учета нелинейной работы материала, воспользуемся теорией малых упругопластических деформаций.

2) Приложение нагрузки примем постепенным. Пошаговое приложение нагрузки реализовано с помощью метода последовательных нагружений [4].

3) Материал работает согласно энергетической теории прочности (критерий наступления опасного состояния $\sqrt{J_2}=\sigma_y$, где σ_y – предел текучести материала, J_2 – второй инвариант девиатора напряжений).

4) Диаграмму работы материала примем билинейной (пластичность с упрочнением), модуль деформации $E_2=E/10=2.5\text{кН/м}^2$.

5) Значение предела текучести σ_y примем равным

$$\sigma_y = 6c \cdot \cos(\varphi) / (3 - \sin(\varphi)) = 7 \cdot 10^{-2} \text{ МПа.}$$

6) Значения вертикальных перемещений верхнего слоя грунта, для глубины сжимаемой толщи z , определим по формуле[5]:

$$w \approx 0.8 \sum \varepsilon_z \Delta z,$$

где Δz – шаг определения значений напряжений и перемещений.

Результаты детерминированного расчета.

В таблицах 1 и 2 показано, как изменяются значения напряжений и перемещений с увеличением глубины сжимаемой толщи и изменением размера сетки КЭ. Результаты аналитического расчета даны для единовременного и поэтапного (20 ступеней) приложения нагрузки.

На рис.1 показаны перемещения верхнего слоя нелинейно деформируемого полупространства от действия равномерно распределенной нагрузки. Численное решение получено на сетке конечных элементов $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ м, размеры массива грунта – $20 \times 20 \times 10$ м.

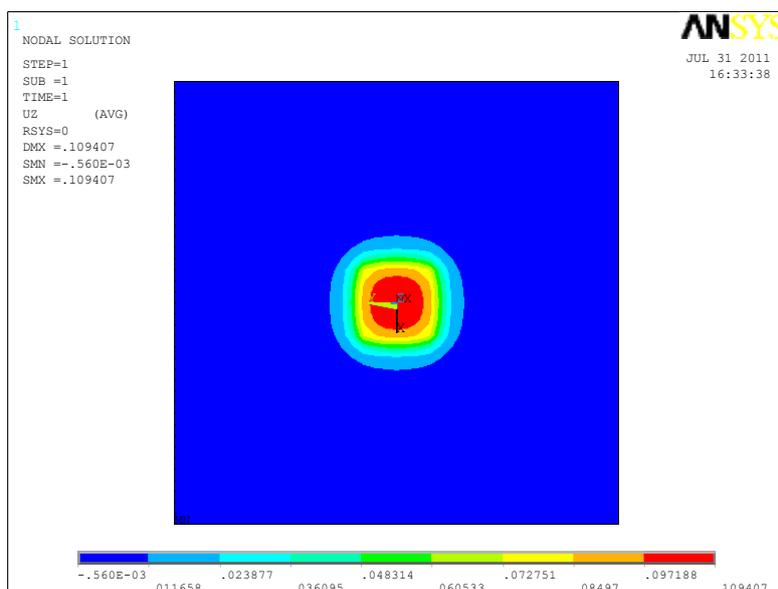


Рис.1- Перемещения верхнего слоя

Таблица 1– Напряжения и перемещения по глубине сжимаемой толщи.

Размеры массива, м	Напряжения в точке (1,1,1), МПа		Перемещения в точке (0,0,0), м		
	Аналитическое решение	Численное решение	Численное решение	Аналитическое решение	
				Единовременное приложение нагрузки	Поэтапное приложение нагрузки
10x10x5	0.16176	0.14921	0.10424	0.2013	0.1025
20x20x10		0.14873	0.10941	0.2066	0.1079
30x30x15		0.148243	0.110286	0.2087	0.1099
40x40x20		0.148015	0.111002	0.2097	0.1110
40x40x30		0.147927	0.111628	0.2108	0.1120

Таблица 2– Напряжения и перемещения для различных сеток

Размеры сетки, м	Напряжения в точке (1,1,1), МПа		Перемещения в точке (0,0,0), м		
	Аналитическое решение	Численное решение	Численное решение	Аналитическое решение	
				Единовременное приложение нагрузки	Поэтапное приложение нагрузки
1x1x1	0.16176	0.132057	0.1103	0.2174	0.1098
0.5x0.5x0.5		0.14873	0.10941	0.2066	0.1079
0.25x0.25x0.25		0.151645	0.1082	0.1962	0.1070

Можно заметить, что результаты численного и аналитического решения достаточно хорошо совпадают при поэтапном приложении нагрузки.

Оценка надежности основания.

Задачу теории надежности решим, как в нелинейной, так и в линейной постановке. Для этого примем случайными: модуль деформации основания с математическим ожиданием – $E=25\text{МПа}$ и коэффициентом изменчивости $v_E=0.2$; равномерно распределенную нагрузку с математическим ожиданием $q=250\text{кН/м}^2$ с коэффициентом изменчивости $v_q=0.2$. Распределение всех случайных величин принято нормальным. За отказ принято превышение максимальным значением вертикальных перемещений предельного значения $[w]=10\text{см}$.

Задача решена методом статистических испытаний[2]. Было проведено 100 испытаний по схеме Бернулли. На рис.2 показаны значения модуля деформации и распределенной нагрузки для каждого испытания.

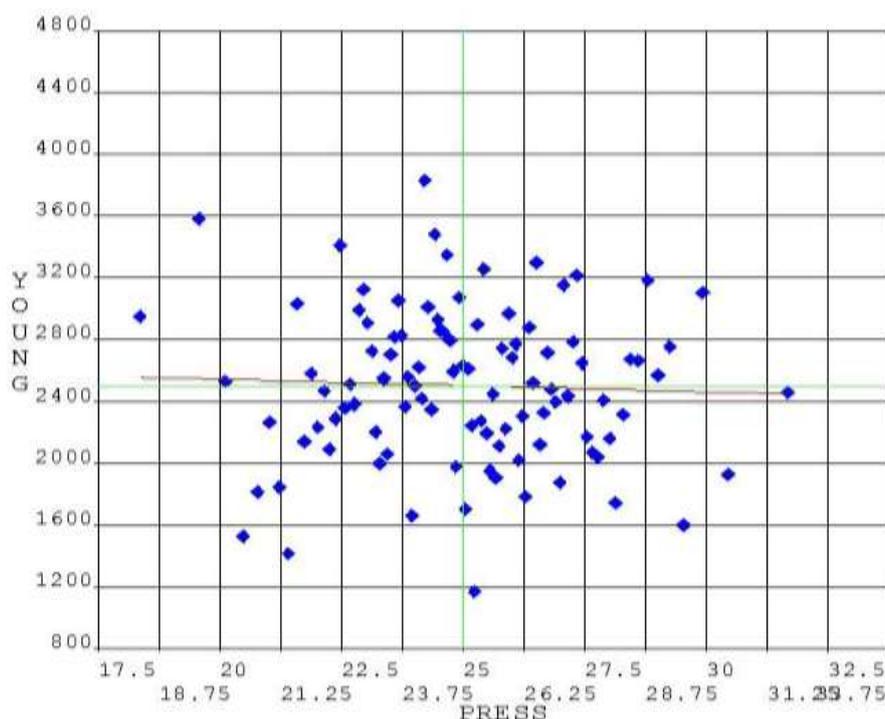


Рис.2. - Облако реализаций случайных исходных величин (по оси x – значения нагрузки, по оси y – модуля деформации)

Вероятность отказа по перемещениям в случае нелинейной работы материала основания будет равна $P_f=0.58$. Если же принять работу основания линейной, вероятность отказа основания составит $P_f=0.02$.

Использование вероятностных методов при расчете позволяет количественно оценить надежность оснований и проектировать фундаменты с оптимальным соотношением надежности и экономичности.

Список литературы:

1. *Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Гориков А.А.* Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М., Издательство АСВ, 1995.

2. *Мкртычев О.В., Мясникова Е.С.* Решение задачи о действии сосредоточенной силы на полуплоскость в вероятностной постановке. Строительство – формирование среды жизнедеятельности: научные труды Четырнадцатая международная научно-практическая конференция молодых ученых, докторантов и аспирантов. М.: МГСУ, Изд-во АСВ, 2011.

3. *Ржаницын А.Р.* Теория расчета строительных расчетов на надежность. М.: Стройиздат, 1978.

6. СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».

4. *Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н.* Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник. М.: МГСУ, Изд-во АСВ, 2011.

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.01.11

В. Н. Авдащенко, С. В. Кузнецов к.х.н.

Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского
Россия, г. Брянск
19vladimir86@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДСОРБЦИИ КАТИОНОВ КАЛЬЦИЯ И ФОСФАТ-АНИОНОВ НА ТОЧКУ НУЛЕВОГО ЗАРЯДА ДИОКСИДА ТИТАНА

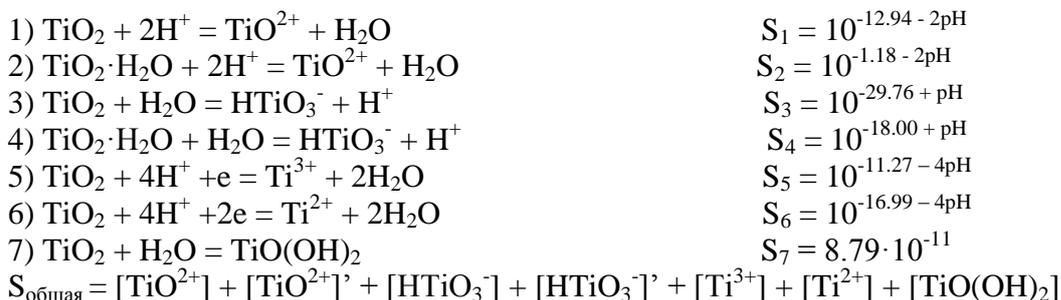
Термодинамически обоснована зависимость точки нулевого заряда и растворимости диоксида титана. Проанализированы данные по адсорбции катионов кальция и фосфат-анионов на диоксиде титана при различных значениях рН. Показано, что адсорбция катиона кальция неспецифическая, а фосфат-иона – специфическая.

Ключевые слова: адсорбция, диоксид титана, фосфат-ион, точка нулевого заряда.

Исследование адсорбции поверхностно-активных ионов (ПАИ) на оксидах представляет значительный интерес для горноперерабатывающей промышленности, поскольку не всегда удается достигнуть полноты извлечения необходимого компонента руды путем растворения горной породы, а адсорбция некоторых ионов может повысить растворимость оксидных фаз и, как следствие, увеличить степень извлечения нужного компонента.

В качестве объекта исследования был выбран диоксид титана (анатаз). Важным является рассмотрение зависимости растворимости данного оксида от рН. Для описания равновесия на границе оксид-раствор при разных значениях рН широко применяется метод построения суммарной кривой растворимости [5]. Минимум кривой растворимости совпадает с точкой нулевого заряда (рН₀) оксида.

На рис. 1 представлены кривые растворимости для диоксида титана в водном растворе от рН. Данные кривые построены на основании приводимых ниже уравнений равновесий между твердой фазой и раствором [10]:



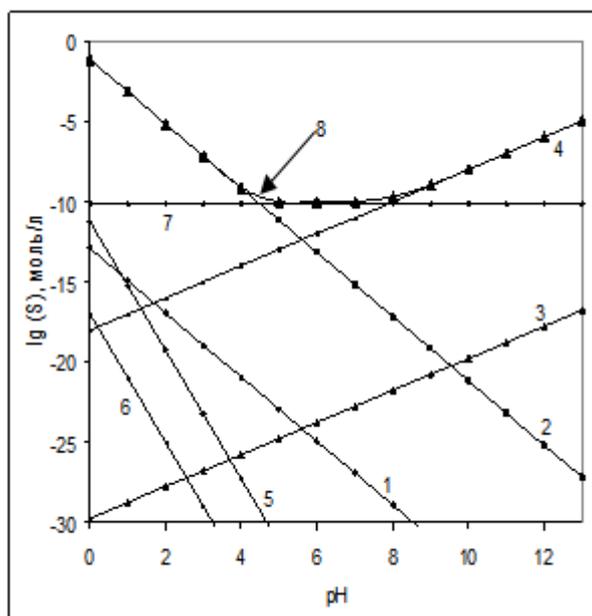
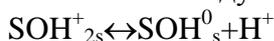


Рис.1. Зависимости равновесных концентраций различных оксо- и гидроксоионов Тi (IV) и суммарной растворимости диоксида титана при различных pH: 1 - $[\text{TiO}^{2+}]$; 2 - $[\text{TiO}^{2+}]'$; 3 - $[\text{HTiO}_3^-]$; 4 - $[\text{HTiO}_3^-]'$; 5 - $[\text{Ti}^{3+}]$; 6 - $[\text{Ti}^{2+}]$; 7 - $[\text{TiO}(\text{OH})_2]$; 8 - суммарная концентрация всех ионов.

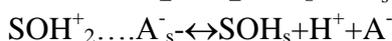
С точки зрения современных представлений о процессах на границе оксид-раствор (теория кислотно-основных равновесий)[1], на поверхности оксида присутствуют поверхностные группы $[S - O^-]$, $[S - OH]$, $[S - OH_2^+]$ [6]. Между ним и раствором устанавливаются следующие равновесия:



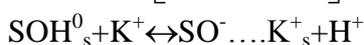
$$k_1 = k_1^0 \exp \left[\frac{\varphi_0 F}{RT} \right] = \frac{[\text{SOH}_s^0] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{SOH}_{2s}^+]}$$



$$k_2 = k_2^0 \exp \left[\frac{\varphi_0 F}{RT} \right] = \frac{[\text{SO}_s^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{SOH}_s^0]}$$



$$k_3 = k_3^0 \exp \left[\frac{(\varphi_0 - \varphi_1) \cdot F}{RT} \right] = \frac{[\text{SOH}_s^0] \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{SOH}_{2s}^+ \dots \text{A}_s^-]}$$



$$k_4 = k_4^0 \exp \left[\frac{(\varphi_0 - \varphi_1) F}{RT} \right] = \frac{[\text{SO}^- \dots \text{K}_s^+] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{SOH}_s^0] \cdot [\text{K}^+]},$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 , - константы равновесия; $k_1^0, k_2^0, k_3^0, k_4^0$ - постоянные; φ_0, φ_1 - скачки потенциала между поверхностью и внутренней плоскостью Гельмгольца и объемом раствора соответственно; F - постоянная Фарадея; R - универсальная газовая постоянная; T - абсолютная температура; s - индекс обозначает твердую фазу; $[\text{SOH}_s^0]$ - концентрация свободных центров на поверхности гидратированного оксида; $[\text{H}^+]$, $[\text{A}^-]$, $[\text{K}^+]$ - концентрация соответственно иона водорода, аниона и катиона в объеме раствора; $[\text{SOH}_{2s}^+]$, $[\text{SO}_s^-]$, $[\text{SOH}_{2s}^+ \dots \text{A}_s^-]$, $[\text{SO}^- \dots \text{K}_s^+]$ - концентрации частиц адсорбированных на оксиде.

С позиции теории кислотно-основных равновесий, процесс растворения диоксида титана в кислых и щелочных средах можно представить следующими схемами:

- в кислых средах: $S(-O^-)_3Ti-OH + 2H^+ \leftrightarrow S(-O^-)_3 \cdots Ti-OH_2^+ + H^+ \leftrightarrow S(-O^-)_3 + TiO^{2+} + 3H^+ \leftrightarrow S-OH + TiO^{2+}$

- в щелочных средах: $S(-O^-)_3Ti-OH + 2H_2O \leftrightarrow S(-O^-)_3 \cdots HTiO_3^- + 4H^+ \leftrightarrow S(-O^-)_3 + HTiO_3^- + 4H^+ \leftrightarrow S-OH + H^+ + HTiO_3^-$

Из приведенных на рис. 2-3 зависимостей видно, что увеличение растворимости оксидов как в кислой, так и в щелочной среде происходит при увеличении значения ΔG адсорбции соответствующих ПАИ. При этом происходит сдвиг минимума растворимости и, соответственно, точки нулевого заряда оксидов. Поверхностно-активные катионы (ПАК) при адсорбции смещают точку нулевого заряда в кислую область, а поверхностно-активные анионы (ПАА) – в щелочную. Подобные изменения приводят к увеличению растворимости оксидов в щелочной области при адсорбции поверхностно-активных катионов и увеличению растворимости в кислой области при адсорбции поверхностно-активных анионов. Подробно построение данных кривых было рассмотрено в работе [2].

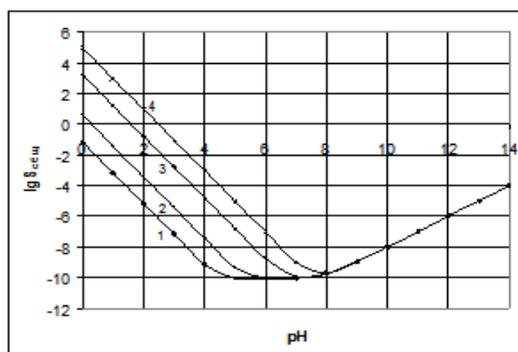


Рис.2. Суммарная растворимость оксида титана (IV) при различных значениях ΔG адсорбции поверхностно активного аниона: 1 – 0 кДж/моль (без ПАА), 2 – 10 кДж/моль, 3 – 25 кДж/моль, 4 – 35 кДж/моль.

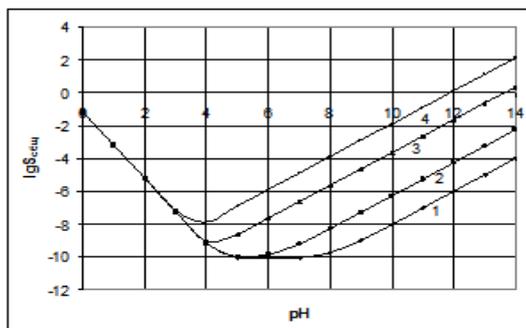


Рис.3. Суммарная растворимость оксида титана (IV) при различных значениях ΔG адсорбции поверхностно активного катиона. 1 – 0 кДж/моль (без ПАК), 2 – 10 кДж/моль, 3 – 25 кДж/моль, 4 – 35 кДж/моль.

Для исследования влияния адсорбции ионов на смещение точки нулевого заряда диоксида титана были взяты катион кальция и фосфат-анион. Выбор в пользу этих ионов сделан в связи с тем, что они достаточно часто встречаются в природных водах и могут влиять на процессы выщелачивания титаносодержащих руд. Кроме того, в ряде исследований [7,8] указывается на специфический характер адсорбции фосфат-ионов на гидроксидах и оксигидроксидах железа, алюминия, хрома, марганца, титана.

Методом отдельных навесок установлено, как изменяется равновесное значение рН раствора, содержащего 0,3г диоксида титана, при добавлении 0,001 моль/л фосфата натрия и 0,001 моль/л нитрата кальция. Результаты представлены на рис.4.

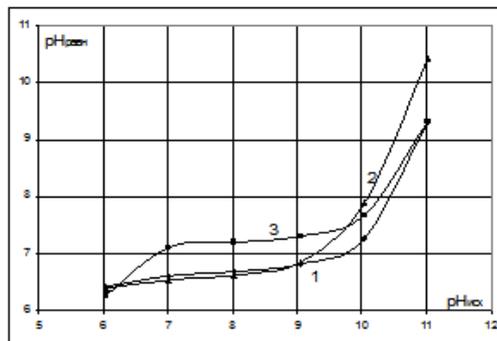
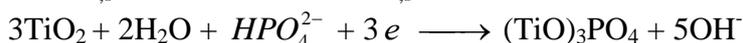
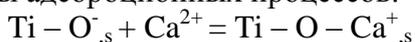


Рис.4. Влияние адсорбции фосфат-иона на равновесное значение рН раствора в системе оксид титана (IV) – раствор электролитов: 1 – без добавки фосфат-иона; 2 – в присутствии 0,001М Ca(NO₃)₂; 3 – в присутствии 0,001М Na₃PO₄.

Анализ этих данных позволил сделать вывод относительно влияния катиона кальция и фосфат-иона на смещение точки нулевого заряда (рН₀) диоксида титана и, следовательно, на его растворимость. В работах [3,4,9] было показано, что при рН < рН₀ поверхность диоксида титана имеет положительный заряд, возникающий за счет адсорбции ионов водорода, а при рН > рН₀ – отрицательный за счет адсорбции гидроксид-ионов.

Согласно нашим исследованиям, при адсорбции катионов кальция значение рН₀ меняется незначительно. Адсорбция фосфат-ионов сопряжена с повышением рН среды. Данный факт дает основание полагать, что процесс сопровождается анионным обменом с участием гидроксильных групп. И результатом адсорбции фосфат-ионов становится смещение точки нулевого заряда диоксида титана до значения рН=7,3-7,5.

На основании анализа экспериментальных данных можно предложить следующие схемы адсорбционных процессов:



Выводы.

1. Получены данные по влиянию адсорбции катионов кальция и фосфат-ионов на точку нулевого заряда диоксида титана.

2. Выявлено, что катионы кальция адсорбируются за счет электростатических сил взаимодействия с поверхностью диоксида титана, а адсорбция фосфат-иона сопровождается анионным обменом и образованием новых соединений.

3. Адсорбция фосфат-иона вызывает смещение точки нулевого заряда диоксида титана с рН=6,5-6,7 до рН=7,3-7,5, вызывая повышение растворимости TiO₂ в кислой области.

Список литературы:

1. Davis J.A., James R.D., Leckie J.O. Surface Ionization and Complexation at the Oxide/Water Interface. // J. Colloid Interface Sci. 1978. V. 63. №3. P. 480-499;
2. Авдащенко В.Н., Кузнецов С.В., Панкратов Д.В. Использование теории связанных мест для описания термодинамики процессов адсорбции на оксидах титана и железа. // Вестник Брянского государственного университета. №4 (2010): Точные и естественные науки. Брянск: РИО БГУ, 2010. – 262с. – С. 63-68;
3. Артамонова И.В., Горичев И.Г., Изотов А.Д., Пичугина Н.М., Русакова С.М. Моделирование адсорбции ионов водорода на поверхности TiO_2 // XLIV Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики, химии. Секция неорганической химии: Сборник. Тезисы докладов. М.: РУДН, 2008 г. – С. 90.;
4. Артамонова И.В., Горичев И.Г., Изотов А.Д., Степанов В.М., Русакова С.М. Изучение кислотно-основных характеристик TiO_2 // XLIV Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики, химии. Секция неорганической химии: Сборник. Тезисы докладов. М.: РУДН, 2008 г. – С. 4;
5. Горичев И.Г., Петроченков В.А., Батраков В.В., Курилкин В.В., Изотов А.Д. Использование методов сравнительного анализа термодинамических параметров для описания системы молибден-вода. М.: МПГУ. 2004. 60 с.;
6. Данков П.Д., Игнатов Д.В., Шишаков Н.А. Электронографическое исследование окисных и гидроокисных пленок на металлах. М.: Изд. АН СССР. 1953. - 253с.;
7. И.Г. Горичев, В.В. Батраков, И.С. Шаплыгин, Н.М. Дятлова, И.С. Михальченко. II. Комплексообразование на поверхности гидроксидов железа. Экспериментальные данные по адсорбции ионов и поверхностному комплексообразованию. // Неорганические материалы, 1994, том 30, №10. – С. 1219-1234;
8. Печенюк С.И. Сорбция ионов на оксигидроксидах металлов (обзор). // Сорбционные и хроматографические процессы, 2008, том 8, вып.3. – С. 380-428;
9. Русакова С.М., Артамонова И.В., Горичев И.Г. Оценка адсорбционных свойств TiO_2 на основе изучения кислотно-основных характеристик // Материалы 65-ой Международной научно-технической конференции «Автотракторостроение-2009». Книга 8 (Секция 8. Наноматериалы и нанотехнологии в автотракторостроении), Москва, МГТУ «МАМИ», 2009. – С. 21-26;
10. Справочник химика, 2-е изд., перераб. и доп., т.3. М.: «Химия», 1965.

Е. В. Гусева к.х.н., В. К. Половняк д.х.н., А. В. Потапова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
факультет химических технологий, кафедра неорганической химии
Россия, г. Казань
albinka88-kazan@rambler.ru

**ВЛИЯНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОГО КОМПЛЕКСА РОДИЯ(III) С Р-
ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМ КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНОМ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНО-РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И ВИНИЛАЦЕТАТА**

Рассмотрены особенности влияния супрамолекулярного комплекса родия(III) с Р-функционализированным каликс[4]резорцином на кинетику полимеризации метилметакрилата и винилацетата в системе «пероксид бензоила + комплекс Rh(III) с Р-функционализированным каликс[4]резорцином». На основе сравнения экспериментальных данных с известными каталитическими системами показано преимущество применения в качестве катализаторов супрамолекулярных комплексов.

Ключевые слова: метилметакрилат, винилацетат, полимеризация, перекись бензоила, супрамолекулярный комплекс родия(III) с Р-функционализированным каликс[4]резорцином, кинетика, константа скорости реакции, диоксан, формаимид.

В современной полимерной химии приоритетным направлением является контролируемый синтез полимеров с заданной молекулярной массой и узким молекулярно-массовым распределением (ММР). Поэтому поиск и разработка высокоэффективных и селективных каталитических систем является одной из актуальных задач.

Одними из важных продуктов полимерной химии являются полимеры винилового ряда, поскольку на их основе изготавливают огромное количество различных композиционных, лакокрасочных и других материалов. В работах [1, 2, 3, 4, 5] для радикальной полимеризации метилметакрилата (ММА) и винилацетата (ВА) в качестве катализаторов использовались комплексы переходных металлов - рутения, железа, меди, рения, никеля, родия с фосфорсодержащими лигандами.

Потенциальный интерес в качестве катализаторов представляют комплексы ионов металлов с супрамолекулами. Среди супрамолекул можно выделить каликс[4]резорцины, отличающиеся простотой получения. Химическая модификация каликс[4]резорцинов по нижнему и верхнему ободу молекулы позволяет получать соединения, обладающие рядом важных свойств, в частности, участвовать в координации ионов металлов [6]. Следует также отметить соединения родия, обладающие исключительной каталитической активностью (степени окисления от 0 до +3). Комплексы родия с Р-модифицированными каликс[4]резорцинами исследовались в ряде каталитических процессов и показали высокую селективность [7, 8].

В данной работе нами в качестве новой иницирующей системы в реакции каталитической полимеризации ВА используется смесь перекиси бензоила (ПБ) и соединения (C4R-PRh) - октахлоротетрадикислород{(4, 6, 10, 12, 16, 18, 22, 24-октагидрокси - 2, 8, 14, 20 – тетра [пара - (дифенилфосфино) фенил] пентацикло [19. 3. 1. 1^{3,7}. 1^{9,13}. 1^{15,19}] октакоза – 1 (25), 3, 5, 7 (28), 9, 11, 13 (27), 15, 17, 19 (26), 21, 23-додекаен)}тетрародий(III) [9]. (C4R-PRh) способен связывать диоксигород и проявлять каталитические свойства в различных процессах за счет переноса одного или двух электронов вследствие электронного

перераспределения между координационным центром и каликсрезорциновой матрицей. Наиболее близкий по строению активного центра к исследуемому нами соединению (C4R-PRh) катализатор радикальной полимеризации MMA описан в работе [10], однако в его структуре отсутствуют супрамолекулярные лиганды.

Целью настоящей работы являлось тестирование каталитической активности (C4R-PRh) в составе иницирующей смеси «ПБ + (C4R-PRh)» в модельной реакции радикальной полимеризации ВА и сравнительная оценка полученных данных с ранее изученной модельной реакцией радикальной полимеризации MMA в составе иницирующей смеси «ПБ + (C4R-PRh)». А также сравнение с данными для различных иницирующих систем, в состав которых входят комплексные соединения, не содержащие каликсрезорциновую структуру.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для исследования каталитической активности (C4R-PRh) в составе иницирующей смеси «ПБ + (C4R-PRh)» в модельной реакции радикальной полимеризации винилацетата изучены зависимости константы скорости реакции от различных концентраций комплекса (C4R-PRh) в составе иницирующей смеси, а также в зависимости от соотношения растворителей (формаид: диоксан; об.%) в составе бинарной смеси.

Следует отметить, что предварительные исследования по самоассоциации соединения (C4R-PRh) тензиометрическим методом показали, что в исследуемых системах при соотношениях формаид: диоксан = 10: 90, 20: 80, 30: 70 (об.%) и при $(C_{C4R-PRh}) = 1 \cdot 10^{-4}$; $2.5 \cdot 10^{-4}$; $3 \cdot 10^{-4}$; $4 \cdot 10^{-4}$ моль/л комплекс не агрегируется [11].

Ранее нами в работе [12] каталитическая активность (C4R-PRh) в эксперименте с MMA исследовалась при минимально возможных концентрациях $(C_{C4R-PRh})$ в интервале $0,5 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л: эти концентрации в 10 раз меньше по сравнению с концентрациями комплексов в работах [1-3, 10]. Следует отметить, что на начальном этапе полимеризации MMA в присутствии ПБ с добавкой любого количества (C4R-PRh) скорость процесса значительно выше, чем в присутствии одного только ПБ. Для проведенных экспериментов были рассчитаны скорости реакции и константы скорости реакции, а также вычислен порядок реакции по иницирующей смеси (Табл. 1).

Таблица 1 - Некоторые кинетические параметры реакции полимеризации MMA при различной концентрации комплекса ([ПБ] = const = 0,1106 моль/л).

№	$C_{(C4R-PRh)} \cdot 10^4$ моль/л	Соотношение формаид: диоксан, об.%	$k_{эфф} \cdot 10^6$, $1/л \cdot с^{-1}$	порядок
1	-	-	1,08	
2	0,50	10:90	1,83	0,333
3	1,25		2,70	
4	1,50		2,28	
5	2,00		1,33	
6	0,50	20:80	1,63	0,124
7	1,00		1,39	
8	1,50		1,67	
9	0,50	30:70	1,43	0,108
10	1,00		1,40	
11	1,50		1,12	

Из полученных данных следует, что при введении в иницирующую систему добавки соединения (C4R-PRh) скорость процесса и эффективная константа скорости ($k_{эфф}$) увеличивается относительно холостого эксперимента (Табл. 1, №1).

Однако необходимо отметить неравномерную зависимость между концентрацией соединения (C4R-PRh) и наблюдаемой константой скорости.

В полимеризации MMA наибольшая по значению ($k_{эфф}$) наблюдается при соотношении формамид: диоксан = 10: 90 (об.%) и ($C_{C4R-PRh}$) = $1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л. При соотношении формамид: диоксан = 20:80 (об.%) и ($C_{C4R-PRh}$) = $0,50 \cdot 10^{-4}$; $1,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л ($k_{эфф}$) остается практически на одном уровне. Но при ($C_{C4R-PRh}$) = $1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л ($k_{эфф}$) становится заметно ниже. Наибольшая по значению ($k_{эфф}$) при соотношении формамид: диоксан = 20:80 (об.%) наблюдается при ($C_{C4R-PRh}$) = $1,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л, однако, она намного меньше максимальной наблюдаемой константы скорости при соотношении формамид: диоксан = 10:90 (об.%). При соотношении формамид: диоксан = 30:70 (об.%) при увеличении ($C_{C4R-PRh}$) с $0,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л до $1,00 \cdot 10^{-4}$ моль/л ($k_{эфф}$) практически не изменяется, однако при увеличении ($C_{C4R-PRh}$) до $1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л ($k_{эфф}$) резко снижается. Наибольшая по значению ($k_{эфф}$) зафиксирована в интервале ($C_{C4R-PRh}$) = $0,50 \cdot 10^{-4}$ – $1,00 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

В экспериментах по полимеризации ВА каталитическая активность (C4R-PRh) исследовалась при ($C_{C4R-PRh}$) = $0,5 \cdot 10^{-4}$ ÷ $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Однако кинетику начального этапа удалось отследить лишь для бинарных смесей с соотношением формамид – диоксан = 10: 90 (об.%) и 20: 80 (об.%). При дальнейшем увеличении объемного содержания формамида в бинарной смеси растворителей наблюдается расслоение реакционной смеси.

Следует отметить также, что, как и при полимеризации MMA, на начальном этапе полимеризации ВА в присутствии ПБ с добавкой любого количества (C4R-PRh) скорость процесса значительно выше, чем в присутствии одного только ПБ. Для проведенных экспериментов были рассчитаны скорости реакции и константы скорости реакции, а также вычислен порядок реакции по иницирующей смеси (Табл. 2).

Таблица 2 - Некоторые кинетические параметры реакции полимеризации ВА при различной концентрации комплекса ([ПБ] = const = 0,1106 моль/л).

№	$C_{(C4R-PRh)} \cdot 10^4$ моль/л	Соотношение формамид: диоксан, об.%	$k_{эфф} \cdot 10^6$, л/л*с ⁻¹	порядок
1	-	-	1,08	
2	0,50		1,20	
3	1,25	10:90	7,93	0,413
4	2,50		17,86	
5	0,50		28,97	
6	1,25	20:80	32,75	0,507
7	2,50		27,68	

Из данных следует, что наличие добавки соединения (C4R-PRh) в иницирующей системе увеличивает скорость процесса и эффективную константу скорости ($k_{эфф}$) относительно холостого эксперимента (Табл. 2, №1).

Необходимо отметить более равномерную зависимость между концентрацией соединения (C4R-PRh) и наблюдаемой константой скорости при соотношении формамид: диоксан = 10: 90 (об.%). Наибольшая по значению ($k_{эфф}$) зафиксирована при соотношении формамид: диоксан = 10: 90 (об.%) и ($C_{C4R-PRh}$) = $2,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

При соотношении формамид: диоксан = 20:80 (об.%) и ($C_{C4R-PRh}$) = $0,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л и $2,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л ($k_{эфф}$) остается практически на одном уровне. При ($C_{C4R-PRh}$) = $1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л ($k_{эфф}$) становится заметно выше. Наибольшая по значению ($k_{эфф}$) при соотношении формамид: диоксан = 20:80 (об.%) наблюдается при ($C_{C4R-PRh}$) = $2,50 \cdot 10^{-4}$ моль/л, она же является наибольшей из выявленных в ходе всех экспериментов по полимеризации ВА.

Столь неравномерное влияние добавок соединения (C4R-PRh) в составе иницирующей смеси, по-видимому, связано с наличием специфической сольватации соединения (C4R-PRh) в бинарной смеси растворителей (формаимид-диоксан) [11, 12] и стерической доступностью активных центров (C4R-PRh), а также со специфической растворимостью самих мономеров в бинарной смеси растворителей (формаимид-диоксан) различного объемного состава.

Для любого полимера очень важной характеристикой является ММР. Для нахождения ММР полученных образцов полимеров использовали метод дробного осаждения. Ранее, в работе [12] показано, что полученные интегральные и дифференциальные кривые ММР при полимеризации MMA схожи друг с другом для случаев использования в составе иницирующей смеси (C4R-PRh) в любом количестве и при любом соотношении растворителей в составе бинарной смеси (формаимид-диоксан), однако достаточно сильно отличаются от случая использования только одного ПБ.

Из данных [12] следует, что введение соединения (C4R-PRh) в состав иницирующей смеси позволяет сохранить узкое ММР. Это является важным фактором для прочностных характеристик полимера, а также позволяет добиться небольших молекулярных весов макромолекул, поскольку процесс радикальной полимеризации является цепным и большинство виниловых мономеров полимеризуется с образованием гигантских макромолекул. По-видимому, на начальном этапе полимеризации соединение (C4R-PRh) способствует образованию комплексного радикала, что приводит к увеличению числа центров роста макромолекул и его строение близко к комплексу, описанному в работе [10]. В дальнейшем, на стадии роста цепи комплекс (C4R-PRh) снижает активационный барьер для присоединения последующего мономерного звена. На стадии обрыва цепи присутствие комплекса (C4R-PRh) позволяет снизить активационный барьер рекомбинации макрорадикалов, что в свою очередь позволяет сохранить узкое ММР.

Для всех полученных образцов поливинилацетата (ПВА) также были проведены исследования по ММР с помощью метода дробного осаждения. Как и в предыдущем случае (эксперименты по полимеризации MMA) наблюдалось узкое ММР в случаях введения добавок соединения (C4R-PRh) в состав иницирующей смеси по сравнению с использованием в качестве инициатора лишь ПБ (Рис. 1-2). Однако добиться небольших молекулярных весов макромолекул полученных полимеров на этот раз не удалось.

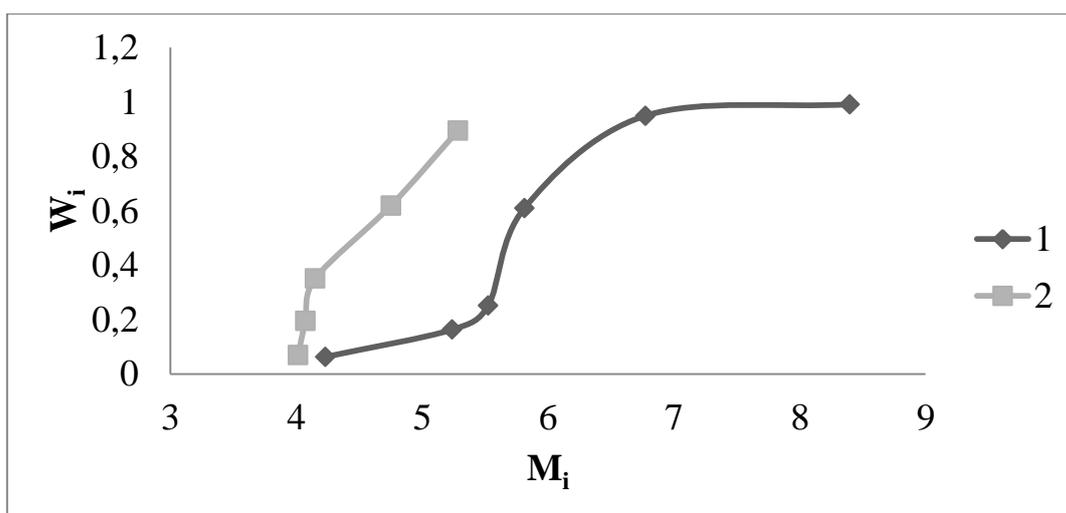


Рис. 1 - Усредненные интегральные кривые ММР ПВА полученного: в присутствии только одного ПБ -1; в присутствии ПБ и в различных концентрациях (C4R-PRh) при различных соотношениях растворителей в составе бинарной смеси растворителей (формаимид -диоксан) – 2.

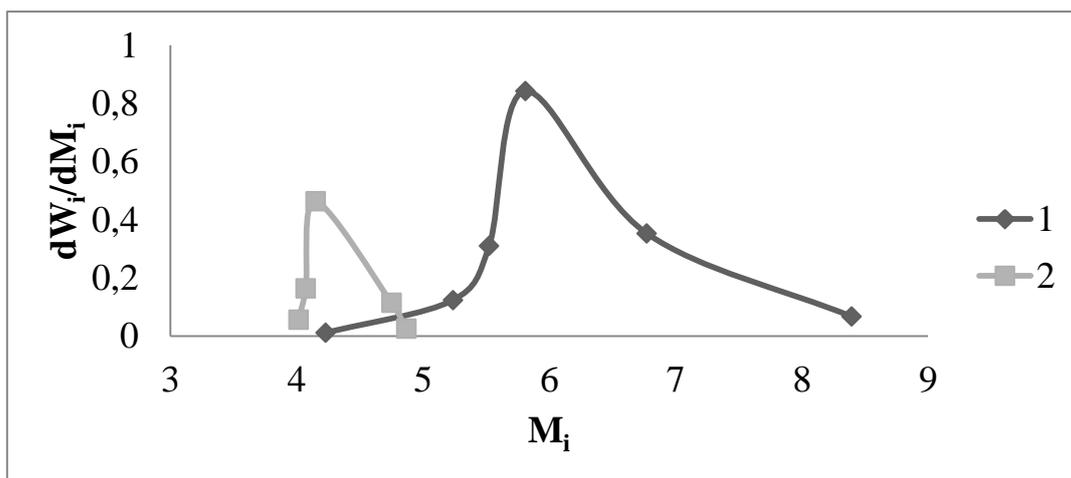


Рис. 2 - Усредненные дифференциальные кривые ММР ПВА полученного: в присутствии только одного ПБ -1; в присутствии ПБ и различных концентрациях (С4R-PRh) при различных соотношениях растворителей в составе бинарной смеси растворителей (формамид - диоксан) – 2.

Данные ИК спектроскопии (4000–450 см⁻¹). Сравнение ИК спектров экспериментальных образцов с эталонными указывает на получение именно ПВА в присутствии в иницирующей смеси {ПБ + (С4R-PRh)}. ИК спектры полученных образцов ПВА имеют стандартный вид для типичных уксусных эфиров. Доминирующий пик карбонильной группы находится в области 1739 см⁻¹. Также значимыми являются деформационные колебания метильных групп в области 1373 см⁻¹. Практически полное отсутствие в полученных образцах ПВА полосы $\nu(\text{C}=\text{C})_{\text{vinyl}}$ в области 1639 см⁻¹ указывает на то, что конверсия мономера близка к 100% [13].

Сравнение электронных спектров поглощения раствора комплекса (С4R-PRh) в начальный момент и его растворов полученных полимеров показывает уменьшение интенсивности полос поглощения (d-d) переходов при 440, 410, 380 нм. Полоса переноса заряда с металла на лиганд (ПЗМЛ) при ~ 550, 530 нм, наблюдаемая в комплексе (С4R-PRh) в виде дублета изменяется: низкочастотная компонента исчезает, интенсивность высокочастотной компоненты падает; полоса перехода ($\sigma\text{---}\sigma^*$) при 340 нм становится широкой и фиксируется небольшое расщепление. Исследования методом электронного парамагнитного резонанса также не фиксирует парамагнитных продуктов в растворе полученного полимера.

На основании работы [12] и вышеизложенного, мы полагаем, что комплекс (С4R-PRh) является каталитически активным по отношению к реакциям полимеризации ММА и ВА.

Представлялось актуальным сравнить полученные данные с имеющимися в литературе сведениями о соединениях, входящих в состав иницирующих систем радикальной полимеризации и проявляющих достаточно высокую каталитическую активность. В работах [4, 5, 10, 14, 15] содержатся сведения о катализе полимеризации виниловых мономеров в различных растворителях комплексами различных переходных металлов, однако не содержащих каликсрезорциновой матрицы (Табл. 3).

Таблица 3 - Параметры полимеризации ММА и ВА с использованием различных иницирующих систем.

№	Реакционная смесь	время (ч)	Конв (%)	Мол. масса
1	[ММА]=7,5 моль/л; [2,2.-дихлорацетофенон]= $39 \cdot 10^{-3}$ моль/л; [RhCl(PPh ₃) ₃]= $3,9 \cdot 10^{-3}$ моль/л; [PPh ₃]=0,14 моль/л 60°C; ТГФ [14]	24	100	28500
2	[ММА] = 9,4 моль/л [N-ацетил-ε-аминокапроновой кислоты ацетиламид] = $0,8 \cdot 10^{-4}$ моль/л; [пероксид лаурила] = 0,4 вес.% [15]	0,2	100	60000
3	[2,2'-азобис(изобутиронитрил)] = $50 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 65°C; ди-н-бутилфталат [10]	7,6	100	260000
4	[ММА]= 5,2 моль/л; [C4R-PRh] = $1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л; [ПБ] = 0,1106 моль/л 60°C ; диоксан-формаид 10:90%	1,5	100	36700
5	[ВА] = 10,8 М [азобис[2-метил-N-(2-(4-хлорометилбензоилокси)этил)пропионамид] = $0,2 \cdot 10^{-3}$ М 90°C [4]	36	100	7900
6	[VOAc] ₀ = 10,8 М [VOAc] ₀ /[CHCl ₂ CO ₂ CH ₃] ₀ = 117; [CHCl ₂ CO ₂ CH ₃] ₀ /[Fe(OAc) ₂] ₀ /[PMDETA] ₀ = 1/1/1. 50 °C [5]	0,2	46	4300
7	[VOAc] ₀ = 10,8 М [VOAc] ₀ /[CCl ₄] ₀ = 117; [CCl ₄] ₀ /[Fe(OAc) ₂] ₀ /[PMDETA] ₀ =1/1/1; 50 °C [5]	0,4	63	7800
8	[ВА]= 5,2 моль/л; [C4R-PRh] = $1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л; [ПБ] = 0,1106 моль/л 70°C; диоксан-формаид 20:80 об.%	0,7	100	3700

Сравнение каталитической активности соединения (C4R-PRh) с данными для различных иницирующих систем, в состав которых входят комплексные соединения, не содержащие каликрезорциновую структуру, показало, что (C4R-PRh) является значительно более активным (Табл. 3).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Соединение (C4R-PRh) получено согласно [9]. Диоксан, формаид, ацетон и ВА использовали марок «Ч», чистили по стандартным методикам и перегоняли непосредственно перед применением. Количество используемого мономера в каждом эксперименте равно 2 мл и концентрация ПБ = 0,025 г/мл или 0,1106 моль/л оставались постоянными во всех опытах. (C_{C4R-PRh}) варьировалась в интервале $0,5 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Реакцию радикальной полимеризации обоих мономеров проводили согласно [16] с использованием термостатируемого при 60,0±0,1 дилатометра. Соединение (C4R-PRh)

первоначально растворяли в 2 мл бинарной смеси растворителей формамид-диоксан, в связи с невозможностью его равномерного распределения ни в одном из выбранных мономеров. Реакцию проводили при заполнении термостатируемого дилатометра приготовленными растворами. Измерения проводили с помощью катетометра, записывая время и показания высоты (h). Из полученных графических зависимостей $h=h(t)$ определяли значения dh/dt для расчета скорости реакции по уравнению:

$$V_{\text{пм}} = \left(10^3 * \pi * r^2 / V * \delta_M * M \right) * (dh/dt), \text{ (моль/л*с)} \quad (1)$$

где r – радиус дилатометра в см; δ_M – параметр, связанный с контракцией мономера при полимеризации и равный разности обратных величин плотностей мономера и полимера; M – молекулярная масса мономера; V — начальный объем реакционной массы в мл при температуре T , получаемый из объема при $T_0=20^\circ\text{C}$ (V_0) с учетом коэффициента теплового расширения мономера по формуле:

$$V = V_0 * (1 + \alpha(T - T_0)), \text{ см}^3 \quad (2)$$

Порядок реакции определяли по тангенсу угла наклона зависимости скорости полимеризации от концентрации (C4R-PRh) в логарифмических координатах.

Расчет кинетических параметров для каждого состава иницирующей системы {ПБ + (C4R-PRh)} проводили, исходя из измерений для трех повторяющихся серий экспериментов.

ММР определяли методом дробного осаждения [17]; для выбранных мономеров растворитель - ацетон, осадитель – дистиллированная вода. Согласно ГОСТ 18249-72 все измерения и вычисления проводились при концентрации полимера не более $0,01 \text{ г/см}^3$. Молекулярную массу (M) вычисляли с помощью уравнения Марка-Хувика. Ошибка в определении M_w (по максимальному отклонению точек) не превышала 10% от среднего значения.

Спектры ИК в области $4000\text{--}450 \text{ см}^{-1}$ снимали на ИК-спектрометре «UR20» Karl Zeiss Jena, образцы были выполнены в виде тонких пленок, выкристаллизованных из ацетона с дальнейшим высушиванием на водоструйном насосе до постоянной массы. Электронные спектры поглощения в УФ- и видимой области записаны на спектрофотометре «СФ-16» в интервале $200\text{--}350 \text{ нм}$ и «Spectol» в интервале $350\text{--}700 \text{ нм}$ (толщина кюветы 1 см , концентрация растворенного вещества $1 \times 10^{-3} \text{ моль/л}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые протестирована каталитическая активность (C4R-PRh) в модельной реакции радикальной полимеризации ряда виниловых мономеров.

2. Установлено, что ведение в состав иницирующей смеси (C4R-PRh) увеличивает константу скорости реакции.

3. Показано, что введение в состав иницирующей смеси (C4R-PRh) способствует сохранению узкого ММР полученных полимеров.

4. Установлено, что использование в составе иницирующей смеси (C4R-PRh) способствует образованию макромолекул с достаточно низким молекулярным весом.

Список литературы:

1. Ando, T. Living Radical Polymerization of Methyl Methacrylate with Ruthenium Complex: Formation of Polymers with Controlled Molecular Weights and Very Narrow Distributions / Ando T. [et al.] // *Macromolecules*. - 1996. Vol. 29. - P. 1070-1072.

2. Ando, T. Iron(II) Chloride Complex for Living Radical Polymerization of Methyl Methacrylate / T. Ando, M. Kamigaito, M. Sawamoto // *Macromolecules*. - 1997. Vol. 30. - P. 4507-4510.

3. Wang, J.S. Controlled "Living" Radical Polymerization. Halogen Atom Transfer Radical Polymerization Promoted by a Cu(I)/Cu(II) Redox Process / J.S. Wang, K. Matyjaszewski // *Macromolecules*. – 1995. Vol. 28. – P. 7901-7910.
4. Paik, H.-j. Block Copolymerizations of Vinyl Acetate by Combination of Conventional and Atom Transfer Radical Polymerization / H.-j. Paik, M. Teodorescu, J. Xia, K. Matyjaszewski // *Macromolecules*. – 1999. V. 32 (21). - P. 7023–7031.
5. Xia, J. Polymerization of Vinyl Acetate Promoted by Iron Complexes / J. Xia, H.-j. Paik, K. Matyjaszewski // *Macromolecules*. – 1999. Vol. 32 (25). - P. 8310-8314.
6. Гусева, Е.В. Взаимодействие соединений платины(IV) с N функционализированными по верхнему ободу молекулы каликс[4]резорцинами в различных средах / Е.В. Гусева, В.К. Половняк, Г.В. Егоров, А.В. Потапова (Соколова). // *Вестник Казан. технол. ун-та*. – 2010. №5. - С.27-35.
7. Shimizu, S. Novel Water-Soluble Calix[4]arene Ligands with Phosphane-Containing Groups for Dual Functional Metal-Complex Catalysts: The Biphasic Hydroformylation of Water-Insoluble Olefins / S.Shimizu, Y.Shirakawa, Y.Sasaki, C.Hira // *Angew. Chem., Int. Ed.* – 2000. Vol. 39. – P. 1256-1264.
8. Fang, X. Metal complexes based on an upper-rim calix[4]arene phosphine ligand / X. Fang, [et all] // *Inorg. Chim. Acta*. – 2001. Vol. 317. - P. 276-285.
9. Гусева, Е.В. Взаимодействие трихлорида родия с Р-функционализированными каликс[4]резорцинами в различных средах / Е.В. Гусева, [и др.] // *ЖОХ*. – 2009. Т.80, Вып. 1. - С.51-63.
10. Moineau, G. Controlled radical polymerization of methyl methacrylate initiated by an alkyl halide in the presence of the Wilkinson catalyst / G. Moineau, C. Granel, Ph. Dubois, R. Jerome, Ph. Teyssie // *Macromolecules*. – 1998. Vol. 31. – P. 542-544.
11. Гусева, Е.В. Гомогенное дегидрирование муравьиной кислоты комплексным соединением Rh (III) с Р-функционализированным каликс[4]резорцином. Часть I. Агрегационные и каталитические свойства / А.В. Потапова (Соколова), А.М. Сайфутдинов, Е.И. Гришин // *Вестник Казан. технол. ун-та*. - 2011. № 6. - С.16-23.
12. Потапова, А.В. Влияние супрамолекулярного комплекса родия (III) с Р-функционализированным каликс[4]резорцином на кинетические особенности комплексно-радикальной полимеризации метилметакрилата / А.В. Потапова, Е.В. Гусева, А.М. Сайфутдинов // *Вестник Казан. технол. ун-та*. - 2011. № 3. - С.51-58.
13. Тарутина, Л.И. Спектральный анализ полимеров / Л.И. Тарутина, Ф.О. Позднякова - Лен.: Химия, 1986, 248 с.
14. Lavnikova, I. V., Polymerization of methyl methacrylate in the presence of *N*-acetyl-ε-aminocaproic acid acetylamide / I. V. Lavnikova , [et al.] // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2002. Vol. 75, №. 2. - P. 302-304.
15. Korbar, A. Influence of differet initiators on methyl methacrylate polymerization, studied by differential scanning calorimewry / A. Korbar, T. Malavasic // *Journal of Thermal Analysis*. – 1995. Vol. 44. – P. 1357-1365.
16. Методические разработки к практическим работам по синтезу ВМС: в 2 т. Т. 2 / сост. В.П. Шибеева, М.Б. Лачинов, Е.В. Черникова. – М.: МГУ, 2002. – 80 с.
17. Торопцева, А. М. Лабораторный практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений / А. М. Торопцева, К. В. Белгородская, В. М. Бондаренко. - Лен.: Химия, 1972. – 416 с.

**С. В. Дворяк, Р. А. Гарифуллин, П. А. Катасонов, Г. В. Маврин к.х.н.,
Д. А. Харлямов, Ю. И. Шакиров к.т.н.**

Камская государственная инженерно-экономическая академия
кафедра химии и экологии
Россия, г. Набережные Челны
chem_ineka@inbox.ru

СОРБЦИЯ ИОНОВ ТРЕХВАЛЕНТНОГО МЫШЬЯКА ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МАГНЕТИТА

После краткого обзора экологических проблем, возникающих в результате загрязнения грунтовых вод ионами мышьяка, проведено исследование сорбционных свойств оксида железа по отношению к мышьяку. В качестве сорбента использовались сферические частицы магнетита, синтезированные плазмохимическим способом из железоуглеродистых сталей. Построена изотерма адсорбции Фрейндлиха. Обсуждена эффективность предлагаемого метода удаления ионов мышьяка.

Ключевые слова: адсорбция, мышьяк, магнетит, изотерма адсорбции, плазмохимия.

Очистка природных и сточных вод от ионов мышьяка представляет собой важную задачу в виду его высокой токсичности. Мышьяк может попадать в водоносные слои в результате его вымывания из руд, что в некоторых районах приводит к значительной концентрации мышьяка в грунтовых водах. Предельно допустимая концентрация в питьевой и в воде водных объектов рыбохозяйственного значения составляет 0,05 мг/м³.

Россия располагает многочисленными месторождениями мышьяка в Якутии, на Урале, в Сибири, Забайкалье и на Чукотке. В промышленности мышьяк содержится в шихтовых материалах, используемых в литейном производстве, а также применяется для производства ружейной дроби. Как частичный заменитель сурьмы мышьяк входит в состав некоторых баббитов и типографских сплавов [1].

Существуют различные методы удаления мышьяка из водных растворов, среди которых можно выделить применение ионообменных материалов [2,3], сорбцию органоминеральным сорбентом [4], электрохимическую [5] и экстракционную [6] очистку.

В зарубежных работах описаны способы удаления мышьяка ультратонкими порошками магнетита (Fe₃O₄) [7]. Такой материал, безусловно, обладает значительной сорбционной активностью, что обеспечивается, в основном, за счёт высокой удельной площади поверхности. Однако ультратонкий порошок магнетита окисляется на воздухе и переходит в маггемит (γ -Fe₂O₃) уже при комнатной температуре [8]. Основу процесса окисления магнетита составляет прогрессирующая миграция катионов Fe²⁺ к его поверхности, поэтому размер частиц оказывает решающее влияние на кинетику и характер его протекания [9]. Сорбционная активность магнетита и маггемита по отношению к мышьяку различна [10]. Указанные выше обстоятельства приводят к тому, что свойства и химический состав ультратонкого порошка синтетического магнетита оказываются функцией времени и условий хранения [8, 11]. Это делает данный материал нетехнологичным, а результаты, получаемые при его использовании, невоспроизводимыми.

В работе [12] излагается способ плазмохимического синтеза порошка магнетита из железо-углеродистых сплавов в плазме газового разряда с электролитическим катодом. Данный способ позволяет получать сферические частицы магнетита в диапазоне размеров от 10 до 500 мкм с высокой производительностью на простом оборудовании с использованием

доступного сырья. В крупных кристаллах диффузионные траектории катионов Fe^{2+} слишком протяжённые, чтобы процесс окисления магнетита мог пройти полностью [9], что обуславливает высокую устойчивость синтезируемого магнетита к окислению, а, следовательно, и временную стабильность его свойств.

В настоящей работе были исследованы сорбционные свойства, получаемого описанным выше методом магнетита. Фракционирование частиц порошка осуществлялось с помощью ситового анализатора А-30 с комплектом сит с ячейкой нормальной точности С-30/50. В результате была получена фракция дисперсностью до 40-50 мкм.

Сорбция As^{3+} проводилась из имитирующих природные воды модельных растворов, полученных в результате разбавления в деионизированной воде государственных стандартных образцов (ГСО) As^{3+} с исходной концентрацией 0,1 г/л. Общее время выдержки растворов после введения в них порошка магнетита — 48 часов. Разделение раствора и сорбента проводилось с помощью магнитного сепаратора. Концентрация As^{3+} определялась методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на фоне ГСО ионов никеля (1 г/л) в качестве модификатора. Результаты измерений представлены в таблице.

Таблица – Адсорбция ионов As^{3+} частицами магнетита

№ п/п	Исходная концентрация ионов (С) As^{3+} в модельном растворе $\pm \Delta$, мкг/л (n=2, P=0,95)	Концентрация As^{3+} в модельном растворе после сорбции магнетитом $\pm \Delta$, мкг/л, (n=2, P=0,95)	Удельная адсорбция (q), мкг/г
1	11,6 \pm 1,7	1,7 \pm 0,26	0,495
2	85,0 \pm 12,8	16,3 \pm 2,5	2,29
3	535 \pm 80	134 \pm 20	6,02
4	908 \pm 136	472 \pm 71	21,8
5	11330 \pm 1700	8100 \pm 1200	162

Количественный химический анализ проб позволил определить удельную адсорбцию (q, мкг/г) в каждом эксперименте.

Математическая обработка данных показала, что в пределах исследованного диапазона концентраций, извлечение ионов As^{3+} из модельных растворов протекает по логарифмическому закону: $\lg q = -1,37 + 0,87 \lg C$. Соответственно, уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха (рис. 1) для данного процесса имеет вид $q = 0,043 \cdot C^{0,87}$.

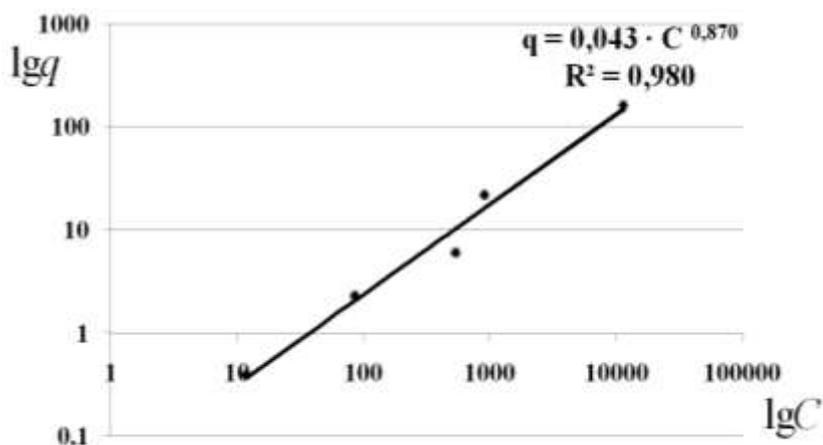


Рис. 1 – Изотерма адсорбции ионов As^{3+} на магнетите.

Наблюдаемая адсорбция обратима, т.е. носит физический характер. Полная десорбция ионов As^{3+} достигается при использовании 0,1 н раствора гидроксида натрия, что указывает на возможность регенерации сорбента. Десорбция в водном растворе с нейтральным рН не превышает 1%.

На основании экспериментальных данных, количественно характеризующих адсорбционную способность магнетита, синтезированного плазмохимическим способом из железоуглеродистых сплавов в газовом разряде с электролитическим катодом, по отношению к ионам As^{3+} , предполагается возможным использование данного материала в качестве адсорбента для очистки воды.

Список литературы:

1. Белостоцкий В. М., Гольдерман М. Д. Мышьяк. // Химия и Жизнь №2, 1971 г, с. 15-21
2. Баймаханов М.Т., Лебедев К.Б., Антонов В.Н., Озеров А.И., Очистка и контроль сточных вод предприятий цветной металлургии. М.: Металлургия, 1983 г., стр. 191.
3. Нуриев А.Н., Джаббарова З.А., Гаиров Ю.М. Неорганический сорбент для селективного извлечения мышьяка из природных вод. // Химия и технология неорганических сорбентов: Межвузовский сборник научных трудов Пермь 1980 - С. 34-39.
4. Пахолков В.С., Марков В.Ф., Гранулированная гидроокись железа ее физико-химические свойства и применение для очистки термальных и природных вод от мышьяка // Химия и технология неорганических сорбентов: Межвуз. сб.науч. тр. /Перм.политехн. ин-т. Пермь, 1980 г., с.26-33.
5. Кожемякин В. А., Градова И.О., Почтарев А.Н. Электрокоагуляционный способ очистки сточных вод от мышьяка и взвешенных частиц //Тез. докл. II Всесоюзного совещания "Химия и технология халькогенов и халькогенидов", – Караганда, 1982 г., стр. 226.
6. Серова В.А., Коган Б.И. Способы очистки сточных вод и технологических растворов от мышьяка. М.: Цветметинформация, – 1977. – 52 с.
7. Murad E. And Schwertmann U. Temporal stability of a fine-grained magnetite // Clays clay min. – 41, - p 111-113.
8. Cornell R. M., Schwertmann U. The Iron Oxides: Structure, properties, reactions, occurrences and uses. Second edition // Willey-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2003. 683 p.
9. Javier Gimenez, Maria Martinez, Joan de Pablo, Miquel Rovira, Lara Duro. Arsenic sorption onto natural hematite, magnetite, and goethite // Journal of Hazardous Materials. – 121. – p 575 – 580. – 2007.
10. Saidur Rahman Chowdhury, Ernest K. Yanful, Allen R. Pratt. Arsenic removal from aqueous solutions by mixed magnetite-maghemite nanoparticles // Environmental Earth Sciences. – Vol. 64, - № 2, - p 411-423.
11. Шакиров Ю. И. Характеристики плазменной электротермической установки с жидким катодом // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 1990.

**Н. Я. Есина¹, М. Н. Курасова¹, У. М. Малага¹, А. К. Молодкин¹, М. В. Тачаев²,
В. Е. Шаповалова¹**

¹Российский университет дружбы народов
Россия, г. Москва
will77_77@mail.ru

²Московский государственный университет природообустройства
Россия, г. Москва

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ РОДИЯ (III) С ГИПОКСАНТИНОМ И АДЕНИНОМ

Изучено комплексообразование в системах: Rh(III) – пуриновое основание (аденин, гипоксантин). Определены константы устойчивости комплексов состава 1:1, 1:2 и 1:3. Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения: Rh(C₅H₅N₅)₂Cl₃·H₂O Rh(C₅H₄N₄O)₂Cl₃·2H₂O.

Ключевые слова: родий, комплексы родия, аденин, гипоксантин.

В последнее десятилетие в химии платиновых металлов сформировалось новое научное направление – биокоординационная химия, находящаяся на стыке таких областей науки, как координационная химия, биохимия, биофизика, медицина. Хорошо известна противоопухолевая активность соединений платины, однако, в настоящее время интенсивно ведется поиск более активных и менее токсичных препаратов на основе других платиновых металлов, в частности, родия. Также исследуются комплексы родия как прекурсоры новых медпрепаратов для терапии сердечнососудистых заболеваний и для фототерапии [1,2]. Поэтому нами были выбраны хелатообразующие лиганды, характерные для биосистем.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Исходные вещества. При изучении комплексообразования в водных растворах и при синтезе комплексных соединений в качестве исходных веществ использовались: гипоксантин (C₅H₄N₄O=Hyp) и аденин (C₅H₅N₅=Ade) производства фирмы «Acros Organics» (США), хлорид родия (III) производства фирмы Aldrich.

Потенциометрическое титрование. Исследование систем с соотношением реагентов Rh(III): Ade(Hyp) равным 1:1, 1:2 и 1:5 проводили методом рН-метрического титрования [3-4] на иономере И-500 с использованием хлорсеребряного и стеклянного электродов. Исходная концентрация металлов и лигандов – 2·10⁻³ моль/л. Постоянная ионная сила поддерживалась добавлением 1М раствора KNO₃. Исследование проводили при температуре 20-21°С в широком интервале рН. Первоначальный объем титруемых растворов составлял 50 мл, титрант – 0,1М раствор КОН. В расчетах использовались предварительно определенные по методу Альберта-Серженца [3] константы ионизации лигандов рK₁=4,11; рK₂=9,81 (аденин); рK₁=2,03; рK₂=8,91 (гипоксантин). Рассчитанные по методике Бьеррума [4], константы устойчивости однороднолигандных комплексов Rh(III) представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Константы устойчивости комплексов родия (III) с гипоксантином и аденином.

Соотношение металл:лиганд	Rh(III)-Hyp		Rh(III)-Ade	
	K_{cp}	$lg K_{cp}$	K_{cp}	$lg K_{cp}$
1:1	$K_1=6,54 \cdot 10^6$	6,82	$K_1=2,20 \cdot 10^8$	8,34
1:2	$K_1=6,78 \cdot 10^6$	6,83	$K_1=2,17 \cdot 10^8$	8,34
	$K_2=2,37 \cdot 10^5$	5,37	$K_2=2,57 \cdot 10^5$	5,41
1:5			$K_1=2,12 \cdot 10^8$	8,33
			$K_2=2,49 \cdot 10^5$	5,40
			$K_3=2,30 \cdot 10^4$	4,36

Для системы Rh(III):Ade (1:5) найдена 3^я константа устойчивости.

Синтез комплексных соединений. Для получения комплексных соединений родия (III) с аденином или гипоксантином в молярном соотношении 1:2 смешивали 40мл 0,01М раствора хлорида родия с 80мл 0,01М раствора аденина (гипоксантина). Для большей полноты протекания реакции смесь нагревали до 50-60°C при постоянном перемешивании на магнитной мешалке в течение 1,5-2 ч., затем выпаривали на водяной бане до сиропообразного состояния. Через некоторое время наблюдали выпадение кристаллов, которые обрабатывали водно-спиртовой и водно-ацетоновой смесями и эфиром на фильтре Шотта. Отмытые кристаллы помещали в эксикатор (P₂O₅), а затем анализировали.

Rh(Ade)₂Cl₃·H₂O – порошок желтого цвета, плохо растворим в воде, нерастворим в спирте, ацетоне, эфире.

Rh(Hyp)₂Cl₃·2H₂O – порошок светло-коричневого цвета, хорошо растворим в воде, спирте, мало растворим в ацетоне и плохо в эфире.

Идентификация синтезированных соединений была проведена методами химического, рентгенофазового, термогравиметрического анализов, методами ЯМР и ИК-спектроскопии.

Результаты химического анализа синтезированных комплексных соединений, проведенного на приборе CHNS-O EA1108 Elemental analyzer фирмы Carlo Erbae с точностью 0,01-0,1%, приведены в таблице 2.

Родий определяли весовым методом, результаты которого подтверждали затем расчетами по термограммам.

Таблица №2. – Результаты элементного анализа комплексов родия (III) с гипоксантином и аденином.

Соединение	Mг	Найдено/Вычислено, %			
		N	C	H	Rh
Rh(Hyp) ₂ Cl ₃ ·2H ₂ O	517,70	21,10	22,96	2,20	21,80
		21,63	23,18	2,31	19,9
Rh(Ade) ₂ Cl ₃ ·H ₂ O	497,54	28,27	24,47	2,51	19,72
		28,15	24,14	2,41	20,68

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-7 с монохроматическим CuK_α-излучением со скоростью ¼ град/мин в диапазоне 5°-90°. На основании сравнительной характеристики исходных и синтезированных соединений можно предположить, что полученные комплексы обладают собственной кристаллической решеткой.

Термогравиметрический анализ. Термограммы синтезированных соединений записывались на термографе «МOM Q-1500D» (Венгрия) при нагревании от 20°C до 1000°C.

Для анализа использовали платиновые тигли, платина-платинородиевые термодпары, эталон - оксид алюминия.

Основываясь на полученных нами термограммах (рис.1) и литературных данных [5,6], можно представить общую схему разложения полученных нами соединений. Термолиз изучаемых комплексных соединений имеет сходный характер. Процесс разложения начинается около 100°C с удаления молекул воды. Основная убыль массы отмечается в интервале температур 400-600°C. Она характеризуется экзотермическим эффектом на кривой ДТА. В этом интервале температур происходит выгорание (деструкция) органической составляющей комплексов. Конечным продуктом термолиза является элементарный родий.

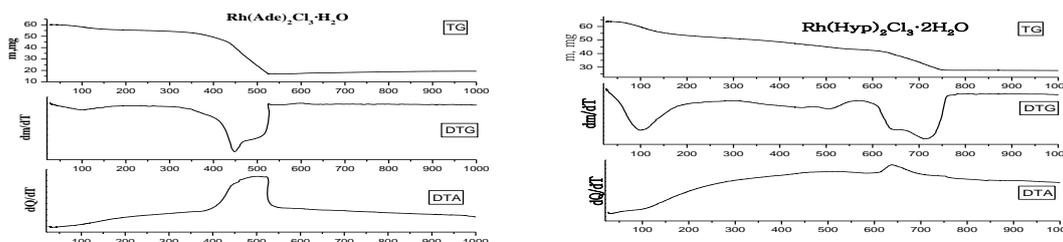


Рис.1. Термограмма $\text{Rh}(\text{Ade})_2\text{Cl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (а) и $\text{Rh}(\text{Hyp})_2\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (б).

ИК-спектры поглощения исходных лигандов и комплексных соединений родия (III) сняты в области $200\text{-}4000\text{cm}^{-1}$ на спектрофотометре Nexus Nicolett в вазелиновом масле. Интерпретацию ИК-спектров поглощения проводили на основании литературных данных по отнесению частот в спектрах исходных веществ и в аналогичных соединениях [7,8].

Таблица №3. – Волновые числа максимумов (cm^{-1}) полос поглощения комплексных соединений Rh(III) на основе аденина и гипоксантина.

Соединение	$\text{Rh}(\text{Ade})_2\text{Cl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Rh}(\text{Hyp})_2\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Валентные колебания NH_2 -группы и N-H-гетероцикла	3014 (сим.) (3299), 2946 (ас.) (3122)	
Валентные колебания $>\text{C}=\text{O}$		1668 (сим.) (1667)
Деформационные колебания N-H связи	1679(1672), 944(939)	
Валентные колебания C=C и C=N пуринового кольца	1607 (1602)	1607 (1579)
Деформационные колебания C=C и C=N пуринового кольца	1016 (1022), 896 (848), 743 (797)	1016 (1136-965), 896, 743 (891-791)
Валентные колебания пиримидинового кольца	1462(1450), 1411 (1418), 1329 (1332)	1462(1467), 1411 (1418), 1329 (1365)
Колебания связи Rh-N	535	549
Колебания связи Rh-Cl	332	326

Волновые числа полос поглощения комплексных соединений родия (III) приведены в таблице 3 (в скобках указаны соответствующие полосы в спектре чистых лигандов). На основании анализа спектров можно предположить, что гипоксантин взаимодействует с ионом родия (III) через атомы азота гетероцикла (N(7) или N(1) или N(9)).

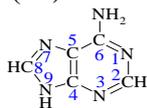
Взаимодействие аденина происходит за счет атомов азота гетероцикла; NH_2 -группа, возможно, принимает участие в координации.

Принимая во внимание сложность ИК-спектров соединений и наложение полос поглощения различных функциональных групп, для окончательного вывода о способе

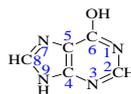
координации ионом металла лигандов в комплексах были использованы ЯМР-спектры синтезированных веществ.

ЯМР-спектры. ЯМР-спектры ^{13}C лигандов и синтезированных комплексов были сняты на импульсном спектрометре с Фурье-преобразованием высокого разрешения Bruker Avante-300 с рабочей частотой протонов 300,2 МГц по одноимпульсной методике с широкополосным подавлением протонов (длительность импульса возбуждения - 4 мкс, с периодом следования 1 сек., число накоплений – 100-1000 сканов, внешний стандарт – тетраметилсилан). Точность определения химических сдвигов составляет $\pm 0,1$ м.д. Интерпретацию ЯМР-спектров поглощения исходных веществ и синтезированных соединений проводили на основании литературных данных [9].

Для исследования использовались неводные (ДМСО) растворы синтезированных соединений родия (III).



Аденин



Гипоксантин

Вследствие комплексообразования происходят изменения химических сдвигов ядер ^{13}C молекул лигандов относительно свободных лигандов (значения данных изменений приведены в таблице 4).

Как видно из таблицы, большое смещение испытывают все атомы углерода. Поэтому можно предположить, что гипоксантин и аденин являются полидентатными лигандами и взаимодействуют с ионами Rh(III) всей π -электронной системой гетероциклов.

Таблица №4. – Значения хим. сдвигов (м.д.) ^{13}C CH_n -групп гипоксантина и аденина в свободном состоянии и в составе комплексов $\text{Rh}(\text{Hyp})_2\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ДМСО) и $\text{Rh}(\text{Ade})_2\text{Cl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (ДМСО).

СН _n - группы	Химические сдвиги ^{13}C (м.д.)					
	Гипоксантин	Комплекс $\text{Rh}(\text{Hyp})\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\Delta\delta(\text{Hyp})$	Аденин	Комплекс $\text{Rh}(\text{Ade})_2\text{Cl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\Delta\delta(\text{Ade})$
C ² -H	142,91	147,60	4,69	152,47	151,22	1,25
C ⁸ -H	138,30	142,25	3,95	139,40	145,60	6,20
C ⁴	151,67	154,50	2,83	151,48	147,45	4,03
C ⁵	117,74	120,73	2,99	117,68	115,59	2,09
C ⁶	153,85	157,30	3,45	155,33	153,47	1,86

Список литературы:

1. *Bernard Desoize.* // Anticancer Research 24: «Metals and Metal Compounds in Cancer Treatment». – 2004. – P.1529-1544.
2. *Орысык С.И.* // Укр. Хим. Журн. - 2008. - Т. 74, № 8. - С. 65-77.
3. *Альберт А., Сержент Е.* «Константы ионизации кислот и оснований» // М.: Химия, 1964.- С.10-33, 149-159, 173.
4. *Бьеррум Я.* «Образование аминов металлов в водном растворе» // М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. - С.33.
5. *Васильченко Д.Б., Филатов Е.Ю., Байдина И.А., Плюснин П.Е., Корнев С.В.* Синтез, кристаллическая структура и термические свойства комплексных солей транс-[Rh(β -Pic)₄Cl₂]X, где X = Cl⁻, ReO₄⁻, ClO₄⁻ // Коорд. химия. – 2010. – Т. 36, №5. – С. 347-352.
6. *Корнев С.В., Васильченко Д.Б., Байдина И.А., Филатов Е.Ю., Венедиктов А.Б.* Синтез, кристаллическая структура и термические свойства комплексов родия (III) с γ -пиколином и изоникотиновой кислотой // Изв. АН, Сер. Хим. – 2008. – №8. – С. 1598-1605.
7. *Накамото К.* «Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений». // М.: Мир, 1966. - 441с.
8. *Большаков Г.Ф., Глебовская Е.А., Каплан З.Г.* «Инфракрасные спектры и рентгенограммы гетероорганических соединений» // Л.: Химия, 1967. - 168с.
9. *Гюнтер Х.* «Введение в курс спектроскопии ЯМР» // М.: Мир, 1984. - 462с.

Кинду М. Ф. А.

Российский университет дружбы народов
Факультет физико – математических и естественных наук
кафедра неорганической химии
Россия, г. Москва
nsambo68@yahoo.com.br

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЗЭ (III) С 1,10- ФЕНАНТРОЛИНОМ И САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

Статья посвящена синтезу и исследованию новых разнолигандных комплексных соединений некоторых редкоземельных элементов с 1,10 –фенантролином и салициловой кислотой. Полученные соединения охарактеризованы различными физико-химическими методами. Предложено их наиболее вероятное строение.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, координационные соединения, лиганды

Многие координационные соединения РЗЭ (III), особенно разнолигандные комплексы (РЛК), в последние годы привлекают внимание исследователей, так как они проявляют ряд интересных свойств, что дало возможность использовать их в различных перспективных направлениях науки и техники [1,2].

В настоящей работе разработаны методы получения комплексных соединений Ln(III) с 1,10-фенантролином (Phen) и салициловой кислотой (Sal), где (Ln(III) = Nd, Sm, Eu, Gd). Выделены из этанольных растворов и исследованы новые РЛК состава $\text{Ln}(\text{Phen})_2(\text{NO}_3)_3$, где (Ln = Nd, Sm, Eu, Gd).

Предварительно спектрофотометрическим методом были исследованы процессы комплексообразования в системах $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{Phen} - \text{этанол}$ (1) и $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{Phen} - \text{салициловая кислота} - \text{этанол}$ (2).

При сравнении полученных спектров поглощения указанных систем было обнаружено смещение ярко-выраженного максимума при длине волны $280,6\text{см}^{-1}$ в спектре системы 1 в присутствии салициловой кислоты (спектр системы 2) и усиление его интенсивности, что свидетельствует об образовании в растворе разнолигандного комплекса (РЛК).

Экспериментальная часть

В качестве исходных препаратов были использованы гексагидраты нитратов РЗЭ(III), $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99,90%), очищенные методом перекристаллизации, салициловая кислота (ч.д.а.), 1,10- фенантролин (х.ч.) фирмы «Химмед», а также этанол, очищенный по стандартной методике [3].

Синтез осуществляли смешиванием насыщенных этанольных растворов исходных веществ в молярных соотношениях Me : Phen : Sal = 1:1:1 при нагревании до 60°C при непрерывном перемешивании. Смесь выдерживали на водяной бане в течение 4 часов. Выпавшие при охлаждении до комнатной температуры мелкокристаллические осадки отфильтровывали и высушивали в вакуум – эксикаторе до постоянной массы. Для образования РЛК важен порядок прибавления растворов в следующей последовательности - нитрат РЗЭ(III), салициловая кислота, 1,10-фенантролин. Полученные соединения представляют собой мелкокристаллические вещества, окрашенные в цвета, характерные для соответствующих РЗЭ(III), нерастворимые в воде и многих органических растворителях. В минеральных кислотах они растворяются с разрушением комплекса. Выделенные

соединения были охарактеризованы комплексом физико-химических методов - химического элементного анализа, кристаллооптического и РФА, ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа.

Химический анализ на содержание металла проводили комплексонометрическим титрованием по стандартной методике [4]. Образцы предварительно разрушали азотной кислотой. Анализ на углерод, азот и водород проводили на С,Н,N – анализаторе EA1108 Carlo Erba Instruments (Италия).

По данным элементного химического анализа (табл.1) был предложен следующий состав комплексов - $\text{Ln}(\text{Phen})_2(\text{NO}_3)_3$, где (Ln = Nd, Sm, Eu, Gd) (Табл.1)

Таблица 1- Результаты химического элементного анализа.

Комплекс	Ме, %		С, %		N, %		H, %	
	Выч.	Найд	Выч.	Найд	Выч.	Найд	Выч.	Найд
$\text{NdPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	24,57	24,76	38,90	40,62	9,55	10,03	2,39	2,51
$\text{SmPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	25,33	25,22	38,51	41,97	9,46	10,43	2,36	2,18
$\text{EuPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	25,59	25,14	38,38	40,10	9,43	10,97	2,35	2,40
$\text{GdPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	26,16	25,57	38,06	41,59	9,45	10,00	2,33	2,45

Процессы комплексообразования РЗЭ (III) с органическими лигандами в этанольных растворах изучалось методом спектрофотометрии на приборе SPECORD-UV-VIS. в кварцевых кюветках (l=10мм).

ИК - спектры поглощения комплексов записывали на приборе Varian «Excalibur HE 3100» (с использованием Фурье преобразованием) в интервале частот $4000-400 \text{ см}^{-1}$ в таблетках KBr.

Термический анализ проводился на дериватографе Q-1500 системы «МОМ» (Венгрия) при нагревании от 20°C до 1000°C со скоростью изменения температуры 5 град/мин.

Рентгенофазовый анализ проводили на автоматизированном ДРОН-7, излучение $\text{CuK}\alpha_1$, $\lambda=1,5404 \text{ нм}$.

Обсуждение результатов

Индивидуальность синтезированных соединений подтверждена по совокупности данных элементного и кристаллооптического анализа и РФА.

При изучении термолиза отмечается довольно высокие температуры разложения РЛК – около 400°C . Для негидратированных соединений такого типа характерны высокие температуры разложения. Отсутствие в ИК – спектрах РЛК полос поглощения, относящихся к колебаниям молекул воды. в области 3400 см^{-1} подтверждает безводный состав полученных соединений.

Таким образом, термолиз протекает по следующей схеме – сгорание органической части молекулы, сопровождающееся сильным экзотермическим эффектом и образованием конечного продукта термолиза – оксида соответствующего металла. Величины потери массы отвечают этому переходу.

ИК – спектры синтезированных соединений имеют чрезвычайно сложный характер. Спектры синтезированных соединений в общем однотипны. Отнесение полос основных характеристических групп приведено в Табл.2.

Таблица 2- Основные полосы поглощения (см⁻¹) в ИК – спектрах синтезированных соединений.

Комплекс	$\delta(\text{H}_2\text{O})$	$\nu(\text{O-H})$	$\delta(\text{аром. кольца})$	$\nu(\text{COO}^-)$	$\nu(\text{NO}_3^-)$
$\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	3400, 3368	1629	---	---	1356,1042 746,814
Phen	---	---	1586	---	---
Sal	---	891,1613	1578	1444, 1296	---
$\text{NdPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	---	863, 991,625	1591	1423	1477,1302, 724,814
$\text{SmPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	---	863, 991,1626	1592	1422,1220	1477,1304, 724,814
$\text{EuPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	---	991,1626	1592	1424,1221	1477,1306, 724,814
$\text{GdPhenSal}(\text{NO}_3)_2$	---	863, 991,626	1593	1432,1222	1477,130, 724,814

В ИК – спектрах полученных нами соединений по сравнению со спектром свободного 1, 10 – фенантролина (Phen), отмечается смещение полос колебания пиридинового кольца \sim на 10см^{-1} в более высокочастотную область, что свидетельствует о координации молекулы Phen с ионами РЗЭ (III) за счет атомов азота.

Большой интерес представляло выяснить характер присоединения нитратогрупп. Известно, что электронодонорные свойства аниона NO_3^- обуславливают образование координационных связей различных типов связей (монодентатная, бидентатная и мостиковая связи [5]. В полученных нами спектрах комплексных соединений наблюдается расщепление полосы ν_3 (1356см^{-1}) на две далеко отстоящие полосы – $1477\text{-}1302\text{см}^{-1}$. Такие расщепления свидетельствуют о существенном понижении симметрии (D_{3h} до C_{2v}) за счет образования координационной связи Me-ONO_2 и, следовательно, о наличии бидентатных нитратогрупп, входящих во внутреннюю сферу комплекса.

Молекулы салициловой кислоты в комплексных соединениях могут выступать в качестве как моно – так и бидентатных лигандов [6]. При сравнении ИК-спектров полученных соединений со спектром салициловой кислоты обнаруживается отсутствие полос валентных колебаний недиссоциированной карбоксильной и гидроксильной групп салициловой кислоты, что свидетельствует о вхождении салициловой кислоты в состав комплекса в качестве бидентатного лиганда.

Таким образом, совокупность данных элементного, термического, рентгенофазового анализов и методов ИК – спектроскопии позволили предположить, что координация ионов металла осуществляется за счет бидентатных лигандов, входящих во внутреннюю сферу комплекса. При этом координационное число РЗЭ (III) равно КЧ = 8.

Список литературы:

1. *Елисеева С.В., Мирзов О.В. и др.* Журн. Неорган. Химии, 2005, 50, 596.
2. *Киселев Ю. М., Добрынина.* Химия Координационных соединений. - М.; Мир, 2007. – С.543.
3. *Беккер Х., Домишке Г., Фангхенель Э. и др.* Органикум.Т. 2 – М.; Мир, 1992. – С. 402.
4. *Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry.* Berlin-Heidelberg –N.Y.Tokyo, 1984. V. 39. D5. p. 383.
5. *Пришибил Р.* Комплексоны в химическом анализе. М.; Мир, 1955. –С.187.
6. *Тельженская П.Н., Шварц Е.М.* //Журн. Коорд. Химии. 1977.Т.3 вып. 9. С.1124.

А. М. Юровский

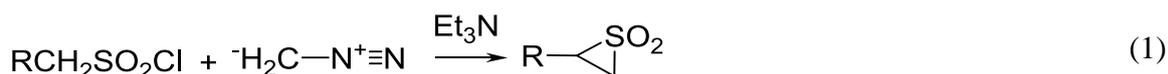
Ярославский государственный технический университет, химико-технологический факультет, кафедра химической технологии органических веществ
Россия, г. Ярославль
amyur@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДНЫХ СУЛЬФОКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ АРОМАТИЧЕСКОГО РЯДА С ДИАЗОМЕТАНОМ

В этой статье описывается общий метод синтеза новых замещенных 3-(бромацетил) бензолсульфонилхлоридов на основе реакции дихлорангидридов замещенных 3-сульфобензойных кислот с диазометаном.

Ключевые слова: диазометан, метилирование, сульфобензойные кислоты, сульфонилхлориды бензойных кислот, фенацилгалогениды.

Реакции многих производных карбоновых и сульфоновых кислот с диазометаном используются в препаративной и аналитической химии и часто формально протекают по одному и тому же механизму, но с различной скоростью и в различных условиях. Так и карбоновые, и сульфоновые кислоты при воздействии диазометана образуют соответствующие метиловые эфиры [1]. Метилирование возможно и для многих амидов этих кислот [2]. Широко изучены реакции хлорангидридов карбоновых кислот с диазометаном, приводящие к образованию соответствующих диазокетонов – удобных интермедиатов в органическом синтезе. Сообщения о реакциях хлорангидридов сульфоновых кислот с диазометаном крайне редки и носят противоречивый характер. Имеются сообщения об устойчивости сульфонилхлоридной группы в этой реакции [3]. В то же время алифатические сульфонилхлориды образуют соответствующие эписульфоны [4, 5] (реакция 1).



Поведение бифункциональных производных сульфоновых и карбоновых кислот, по-видимому, не изучалось. Возможная различная реакционная способность производных сульфоновых и карбоновых кислот может быть использована для получения новых или труднодоступных с помощью иных методов синтеза продуктов.

В данной работе предварительно было изучено поведение сульфонилхлоридов ароматических карбоновых кислот **1(а-к)** в реакции с диазометаном.

Получение метиловых эфиров карбоновых кислот из диазометана и карбоновых кислот протекает следующим образом [6]:

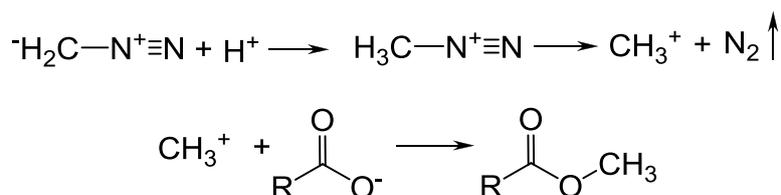
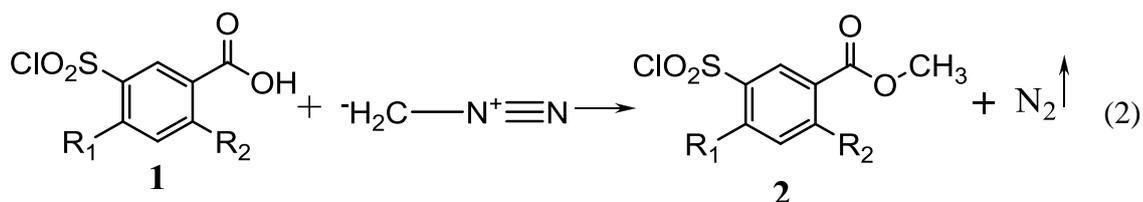


Рис. 1 – Схема метилирования карбоновых кислот диазометаном.

Реакция протекает количественно и в мягких условиях, так что этим путем можно метилировать неустойчивые соединения.

Поведение и влияние сульфонилхлоридной группы в этой реакции неизвестно. Однако можно предположить, что сульфонилхлоридная группа в этой реакции может обладать меньшей реакционной способностью. Реакция карбоксисульфонилхлорида **1** с диазометаном изучалась в среде диэтилового эфира, метилтретбутилового эфира (МТБЭ), бензола, 1,4-диоксана в интервале температур от 5 до 30 °С при различном мольном соотношении диазометан : субстрат **1**. Показано, что во всех случаях, независимо от условий проведения эксперимента и строения исходного субстрата, при достаточном избытке диазометана реакция (2) протекает только по карбоксильной группе.



где R₁, R₂ = H, Cl, Br, F, CH₃, OCH₃.

При высокой степени чистоты соединений **2**, выход этих продуктов во всех случаях превышал 80 % (таблица). Таким образом, в вышеуказанных условиях сульфонилхлоридная группа не претерпевает сколько-нибудь заметных превращений. Строение и чистота полученных продуктов доказана химическими анализами, ИК и ПМР спектроскопией, совпадением температур плавления для ряда уже известных, полученных другими методами, продуктов. Отмеченные закономерности характерны для производных как 3-, так и 4-сульфобензойных кислот.

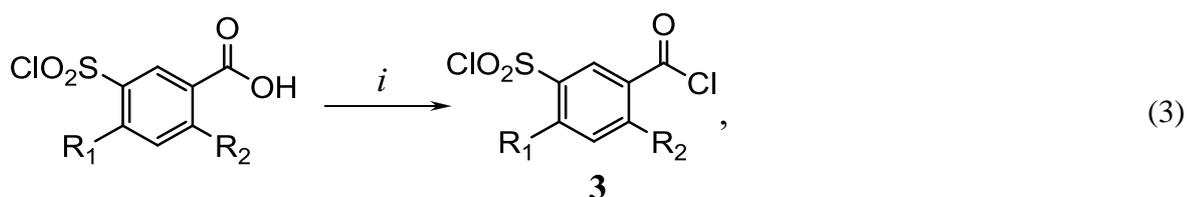
Таблица – Выход и температура плавления ароматических сульфонилхлоридов общей формулой **2, полученных по реакции (2).**

Номер соед.	R ₁	R ₂	Выход, %	T _{пл} , °С
1	2	3	4	5
2а	H	H	83	61-63 61-63*
2б	Cl	H	87	98
2в	H	Cl	85	76-78 76-78*
2г	Cl	Cl	88	108-110 107-109*
2д	Br	H	83	97-99 97-99*
2е	H	Br	86	88-90
2ж	H	CH ₃	90	39-40
2з	CH ₃	H	89	36-38
2и	H	OCH ₃	88	33-35
2к	F	H	89	45-46

* - литературные данные [7]

Обнаруженная устойчивость сульфонилхлоридной группы была использована нами для получения через стадию образования диазокетонов новых, труднодоступных с использованием традиционных методов синтеза фенацилхлоридов **4** и фенацилбромидов **5**. В

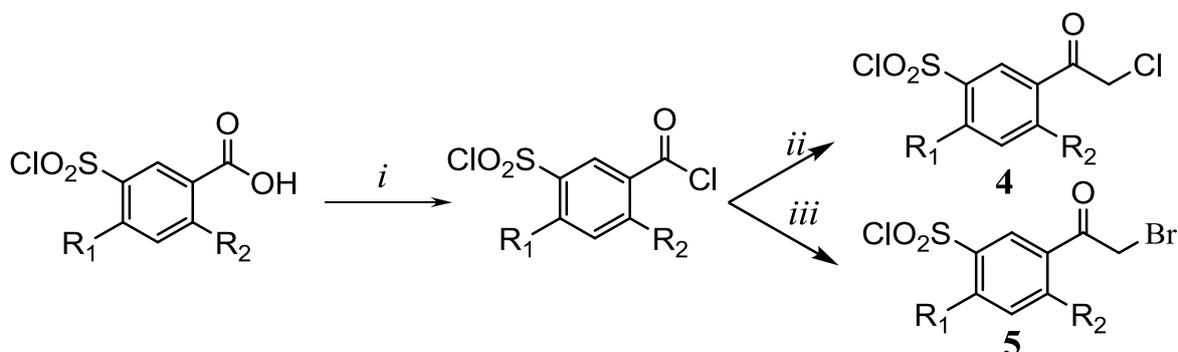
качестве исходных соединений в данном синтезе использовались доступные дихлорангидриды замещенных сульфобензойных кислот **3**, полученные по реакции (3).



где $R_1, R_2 = \text{H}, \text{Me}, \text{Hal}$ и др.
 $i = \text{SOCl}_2$, кипение, 20 минут.

Дихлорангидриды **3** после отгона избытка хлористого тионила использовались в дальнейших синтезах без дополнительной очистки.

Реакция соединений **3** с диазометаном изучалась в среде диэтилового эфира, МТБЭ, бензола, толуола в интервале температур от 0 до 30 °С при избытке диазометана. Диазометан получался щелочным разложением N-нитрозо-N-метилмочевины. Для получения диазометана и для растворения дихлорангидрида сульфокربонной кислоты использовался один и тот же растворитель. Порядок и скорость смешения реагентов взяты из классической методики [6]. Образовавшийся диазокетон с предположительно незатронутой сульфонилхлоридной группой обрабатывался водными растворами HCl и HBr (рис. 2). Анализ полученных продуктов показал, что они соответствуют структуре **4** и **5**. Таким образом, реакция дихлорангидридов широкого круга замещенных 3-сульфобензойных кислот является общим универсальным методом получения замещенных 3-(галогенацетил)бензолсульфонилхлоридов. В литературе отсутствует информация о свойствах и других методах получения подобных соединений, в то же время наличие двух функциональных групп, по отдельности широко используемых для получения многих практически важных продуктов, делает эти соединения ценными реагентами.



где $R_1, R_2 = \text{H}, \text{Me}, \text{Hal}$ и др.

$i = \text{SOCl}_2$, кипение, 20 минут;

$ii = 1) \text{CH}_2\text{N}_2$, эфир, 0 °С, 30 минут; 2) HCl водн.р-р, 25 °С, 10 минут;

$iii = 1) \text{CH}_2\text{N}_2$, эфир, 0 °С, 30 минут; 2) HBr водн.р-р, 25 °С, 10 минут.

Рис. 2 – Схема получения замещенных 3-(галогенацетил)бензолсульфонилхлоридов/

Фенацилгалогениды, используемые в качестве реагентов для получения многих гетероциклических систем, чаще всего получают бромированием соответствующих ацетофенонов, поскольку эта реакция протекает селективнее, чем хлорирование, что важно при использовании сложных субстратов. Анализ показал, что бромиды **5** содержат в качестве

примеси от 5 до 12 % соответствующих хлоридов **4**, образование которых согласуется с известным механизмом протекания данной реакции [6]. В целом температура плавления фенацилхлоридов ниже, чем у фенацилбромидов, что в ряде случаев делает более предпочтительным получение бромидов, очистка и использование которых в дальнейших синтезах более удобна.

Экспериментальная часть

Спектры ^1H ЯМР записаны на приборе «Bruker DRX 500» с рабочей частотой 500.13 МГц в CDCl_3 и внутренним стандартом ТМС.

Исходные бензойные кислоты являются коммерчески доступными соединениями [8]. Соединения **1(а-к)** были получены по известной методике, приведенной в литературе [9]. Общие методики получения дихлорангидридов 3-сульфобензойных кислот **3** представлены в работах [9] и [10].

Общая методика получения метиловых эфиров 2(а-к) замещенных 3-сульфобензойных кислот.

Соединения **2(а-к)** были получены по известной методике, приведенной в литературе [6].

В колбу с раствором 1 ммоль алкилируемого соединения в смеси бензол-1,4-диоксан добавляют при перемешивании при комнатной температуре эфирный раствор диазометана, пока не появится устойчивое слабо-желтое окрашивание; к этому времени должно прекратиться выделение азота при добавлении новых порций диазометана. Растворитель отгоняют в вакууме на водяной бане, конечный продукт сушат на воздухе.

Метил 3-(хлорсульфонил)бензоат (1а). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.00 с (3H COOCH_3), 7.74 т (1H), 8.23 д (1H), 8.41 д (1H), 8.70 с (1H).

Метил 4-хлоро-3-(хлорсульфонил)бензоат (1б). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 3.99 с (3H COOCH_3), 7.74 д (1H), 8.30 д (1H), 8.79 с (1H).

Метил 4-хлоро-5-(хлорсульфонил)бензоат (1в). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.00 с (3H COOCH_3), 7.73 д (1H), 8.07 д (1H), 8.51 с (1H).

Метил 2,4-дихлоро-5-(хлорсульфонил)бензоат (1г). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 3.99 с (3H COOCH_3), 7.78 с (1H), 8.64 с (1H)

Метил 4-бromo-3-(хлорсульфонил)бензоат (1д). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 3.99 с (3H COOCH_3), 7.96 д (1H), 8.19 д (1H), 8.81 с (1H).

Метил 4-бromo-5-(хлорсульфонил)бензоат (1е). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.00 с (3H COOCH_3), 7.95 д (1H), 7.97 д (1H), 8.45 с (1H).

Метил 5-(хлорсульфонил)-2-метилбензоат (1ж). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 2.75 с (3H CH_3), 3.96 с (3H COOCH_3), 7.52 д (1H), 8.04 д (1H), 8.58 с (1H).

Метил 3-(хлорсульфонил)-4-метилбензоат (1з). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 2.85 с (3H CH_3), 3.97 с (3H COOCH_3), 7.53 д (1H), 8.26 д (1H), 8.72 с (1H).

Метил 5-(хлорсульфонил)-2-метоксибензоат (1и). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 3.94 с (3H), 4.04 с (3H), 7.15 д (1H), 8.15 д (1H), 8.48 с (1H).

Метил 3-(хлорсульфонил)-4-фторбензоат (1к). Спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 3.98 с (3H COOCH_3), 7.45 д (1H), 8.45 д (1H), 8.66 с (1H).

Синтез 3-(хлорацетил)бензолсульфонилхлоридов 4(а-г). К 20 мл эфирного раствора диазометана (0,02 моль), полученного по методике, приведенной в литературе [6], при температуре 0 °С и непрерывном перемешивании прибавляют в течение 15 минут раствор 5 ммоль соответствующего дихлорангидрида ароматической сульфокарбоновой кислоты в эфире.

Реакционную массу продолжают перемешивать в течение 30 минут, после чего доводят температуру до 25 °С. Затем порционно обрабатывают 5 мл водного раствора соляной кислоты, до тех пор, пока не перестанет выделяться азот. После прекращения выделения азота при добавлении свежей порции раствора соляной кислоты реакционную массу продолжают перемешивать в течение 10 минут.

Затем к этому раствору медленно и осторожно прибавляют воду, чтобы вызвать разделение раствора на два слоя. Чтобы достигнуть более полного отделения добавляют ещё 100 мл воды. Органический слой промывают двумя порциями 5 % - ого водного раствора гидрокарбоната натрия. Органический слой сушат безводным CaCl_2 . Растворитель удаляют под вакуумом. Полученный целевой продукт сушат на воздухе до постоянной массы.

2-Бromo-5-(хлорацетил)бензолсульфонил хлорид (4а). Выход 89 %, $t_{\text{пл}} = 99-101$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.65 с (2H COCH_2Cl), 8.0 д (1H), 8.1 д (1H), 8.65 с (1H).

3-(Хлорацетил)-4-хлоробензолсульфонил хлорид (4б). Выход 90 %, $t_{\text{пл}} = 77-79$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.65 с (2H COCH_2Cl), 7.7 д (1H), 8.08 д (1H), 8.15 с (1H).

5-(Хлорацетил)-2,4-дихлоробензолсульфонил хлорид (4в). Выход 88 %, $t_{\text{пл}} = 94-96$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.65 с (2H COCH_2Cl), 7.76 с (1H), 8.3 с (1H).

5-(Хлорацетил)-2-хлоробензолсульфонил хлорид (4г). Выход 89 %, $t_{\text{пл}} = 94-97$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.65 с (2H COCH_2Cl), 7.78 д (1H), 8.2 д (1H), 8.64 с (1H).

Синтез 3-(бромацетил)бензолсульфонилхлоридов 5(а-ж). Данные соединения синтезированы по методике, описанной для получения соединений **4(а-г)**, с использованием на втором этапе синтеза водного раствора бромистоводородной кислоты вместо водного раствора соляной кислоты.

3-(Бромацетил)бензолсульфонил хлорид (5а). Выход 84 %, $t_{\text{пл}} = 40-42$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.47 с (2H COCH_2Br), 7.82 т (1H), 8.28 д (1H), 8.36 с (1H), 8.62 с (1H).

5-(Бромацетил)-2-хлоробензолсульфонил хлорид (5б). Выход 89 %, $t_{\text{пл}} = 115-117$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.45 с (2H COCH_2Br), 7.81 д (1H), 8.26 д (1H), 8.71 с (1H).

3-(Бромацетил)-4-хлоробензолсульфонил хлорид (5в). Выход 91 %, $t_{\text{пл}} = 82-84$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.50 с (2H COCH_2Br), 7.74 д (1H), 8.1 д (1H), 8.21 с (1H).

5-(Бромацетил)-2,4-дихлоробензолсульфонил хлорид (5г). Выход 87 %, $t_{\text{пл}} = 87-89$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.47 с (2H COCH_2Br), 7.78 с (1H), 8.34 с (1H).

2-Бromo-5-(бромацетил)бензолсульфонил хлорид (5д). Выход 85 %, $t_{\text{пл}} = 125-127$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 4.43 с (2H COCH_2Br), 8.03 д (1H), 8.14 д (1H), 8.73 с (1H).

3-(Бромацетил)-4-метилбензолсульфонил хлорид (5е). Выход 90 %, $t_{\text{пл}} = 62-64$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 2.64 с (3H CH_3), 4.43 с (2H COCH_2Br), 7.58 д (1H), 8.07 д (1H), 8.24 с (1H).

5-(Бромацетил)-2-метилбензолсульфонил хлорид (5ж). Выход 88 %, $t_{\text{пл}} = 79-80$ °С; спектр ЯМР ^1H (500.13 МГц, CDCl_3), δ , м.д.: 2.87 с (3H CH_3), 4.44 с (2H COCH_2Br), 7.59 д (1H), 8.22 д (1H), 8.64 с (1H).

Список литературы:

1. Кнунянц И. Л. и др. // Химическая энциклопедия в 5 т. – М.: Сов. Энцикл., 1990. – Т2: С. 40.
2. Aurelio L. et al. // Chem. Rev. 2004, 104, pp. 5823-5846.
3. Адамс Р. // Органические реакции, Вып. 2. – М.: 1948. – С. 62.
4. Paquette L. A., Wittenbrook L. S. and Kane V. V. // J. Am. Chem. Soc., 1967, V. 89, № 17, pp. 4487-4493.
5. Fischer N., Opitz G. // Org. Syntheses., 1968, V. 48, P. 106.
6. Беккер Х., Беккерт Р., Бергер В. [и др.] // Органикум. Практикум по органической химии Т. 2. – М.: Мир, 2008. – 488 с.
7. Тарасов А. В., Быченко А. С., Писарев П. К., Москвичев Ю. А. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2008. – Т. 51. – Вып. 8. – С. 11-12.
8. Каталог, *Feinchemikalien*, Acros Organics, Германия, 2001-2002.
9. Писарев П. К., Дис. канд. хим. наук, Иваново, 2008.
10. Тимошенко Г. Н., Григоричев А. К., Москвичев Ю. А., Миронов Г. С. // Изв. вузов. Хим. и хим. технология. – 1986. – Т. 29. – Вып. 5. – С. 23-26.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.16.01

В. В. Андреев д.т.н., М. В. Козлов

Институт ядерной энергетики и технической физики НГТУ им. Р.Е. Алексеева
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки».
Россия, г. Нижний Новгород
vyach.andreev@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, НАГРУЖЕННОЙ ДАВЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS

При разработке сварного пластинчатого теплообменного аппарата потребовалась оценка прочностных характеристик теплообменной поверхности. Было проведено моделирование теплообменной поверхности и ее нагружение рабочим давлением с использованием программного пакета ANSYS. Определены границы применимости данной теплообменной поверхности, получены ряд формул для расчета такой системы.

Ключевые слова: сварной пластинчатый теплообменник, теплообменная поверхность, давление, прочность, деформация ячейки

При разработке пакета пластин сварного пластинчатого теплообменного аппарата была поставлена задача оценить воздействие рабочего давления на пакет теплообменных пластин и определить граничные параметры применимости силовых элементов заданной формы. Характеристики пакета позволяют рассматривать в соответствии концепцией форм пластин принятых в [1] и рекомендовать для обработки модели программный пакет ANSYS.

Сварной пластинчатый теплообменный аппарат (рис.1) относится к классу поверхностных теплообменных аппаратов и предназначен для решения задач промышленного теплообмена, площадь поверхности теплообмена в одном аппарате может достигать 1500 м². Он представляет собой пакет теплообменных коррозионностойких пластин заключенный в стальную раму, укрепленную болтовыми стяжками. Пластины собираются в пакет сваркой между собой, также сваркой к готовому пакету присоединяются входные и выходные элементы, патрубки и т.п.

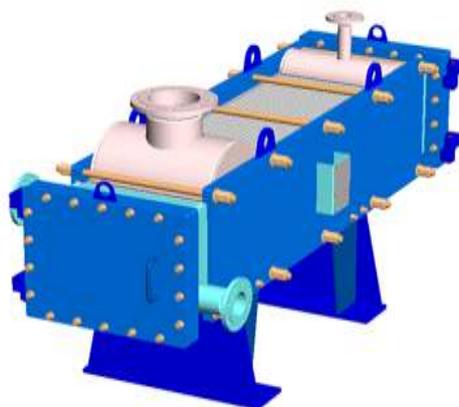


Рис. 1 - Модель сварного пластинчатого теплообменного аппарата.

После сборки данная сварная конструкция, выполняющая функцию теплопередающего элемента, устанавливается между двух толстостенных плит и скрепляется резьбовыми стяжками. Эта массивная металлическая конструкция выполняет силовую функцию и служит элементом, обеспечивающим механическую прочность аппарата. Таким образом, в данном типе теплообменника конструктивно разнесены тепло-гидравлическая и прочностно-механическая части аппарата. Такой тип теплообменников предназначен для работы с жидкостями или газами при давлении до 3,0 МПа и температурах до 400 С°. Особенно эффективно такие аппараты работают с вязкими и загрязняющими средами, так как наличие специальных люков доступа позволяют полностью очищать одну из полостей теплообменника и частично очищать вторую. В качестве материалов для изготовления теплообменных поверхностей используются различные коррозионностойкий сплавы и стали имеющие удовлетворительные характеристики по свариваемости как между собой так и с другими материалами. Для сборки пакета пластин используется в основном контактная роликовая сварка и сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа. Для оценки воздействия была смоделирована ситуация, когда в одной полости теплообменного создается давление 3,0 МПа, в то время как по другой стороне давление отсутствует.

На основании рекомендаций изложенных в [2] в качестве расчетной схемы была выбрана ячейка теплообменной поверхности, представляющая собой $\frac{1}{4}$ теплообменного элемента находящегося на достаточном удалении от краев пластины (Рис.2). Элемент пластины опирается на неподвижную контактную плоскость, моделирующую плоскость симметрии. На боковых сторонах ячейки задаются условия симметрии, на «верхней» поверхности задается давление.

В качестве материала были взяты данные наиболее характерной нержавеющей стали AISI316. Учитывались упругопластические свойства материала.

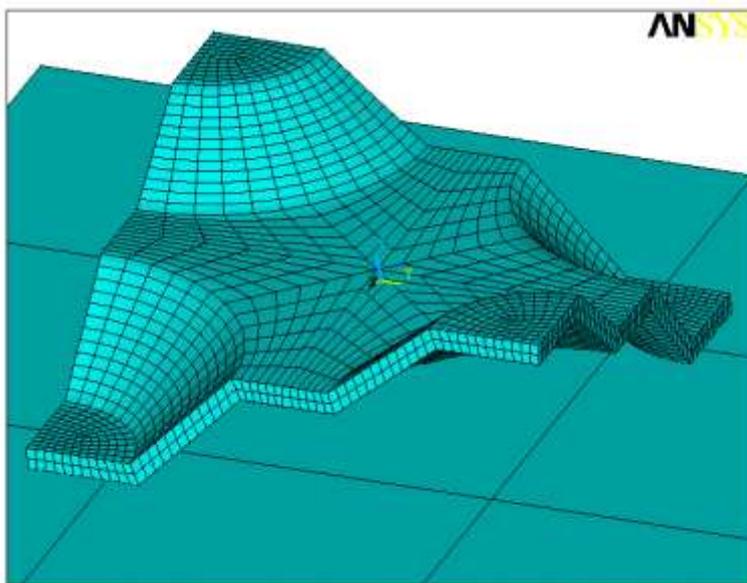


Рис. 2 - Элементарная ячейка для оценки воздействия давления.

Для точной оценки механического воздействия от рабочего давления теплообменника был смоделирован следующий цикл нагружения элементарной ячейки теплообменной поверхности:

- А) исходное состояние (параметр времени 0);
- Б) подъем давления до максимального (параметр времени 1);
- В) сброс давления до нуля (параметр времени 2);

Г) подъем давления до максимального (параметр времени 3);

Д) сброс давления до нуля (параметр времени 4).

Для оценки воздействия давления был использован программный пакет ANSYS 8.0. Ниже представлены основные результаты исследования.

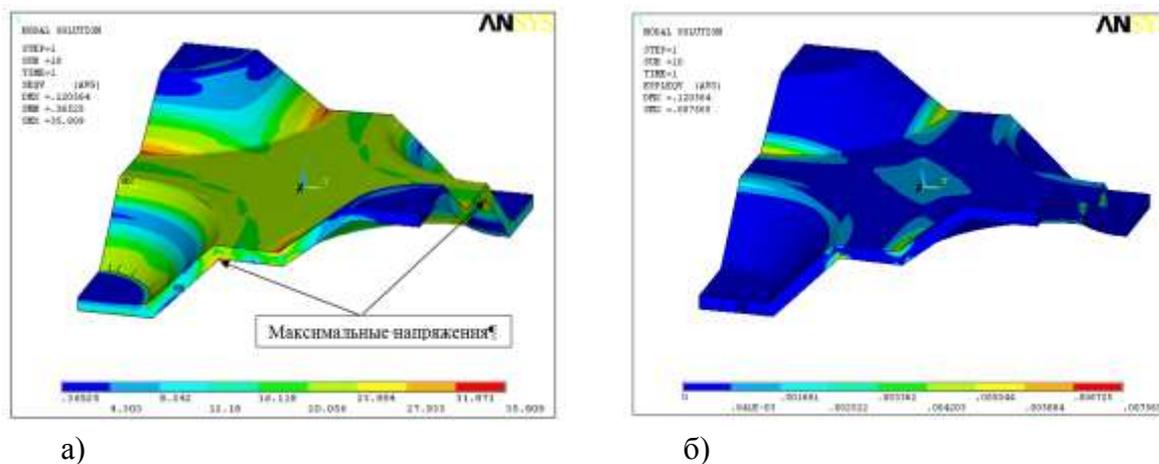


Рис. 3 –Результаты расчета элементарной ячейки: а) эквивалентные напряжения на пике давления, б) эквивалентные пластические деформации на пике давления.

Напряжения и деформации на 2-м цикле практически аналогичны величинам на первом цикле.

Ниже показаны графики изменения максимальных деформаций и напряжений.

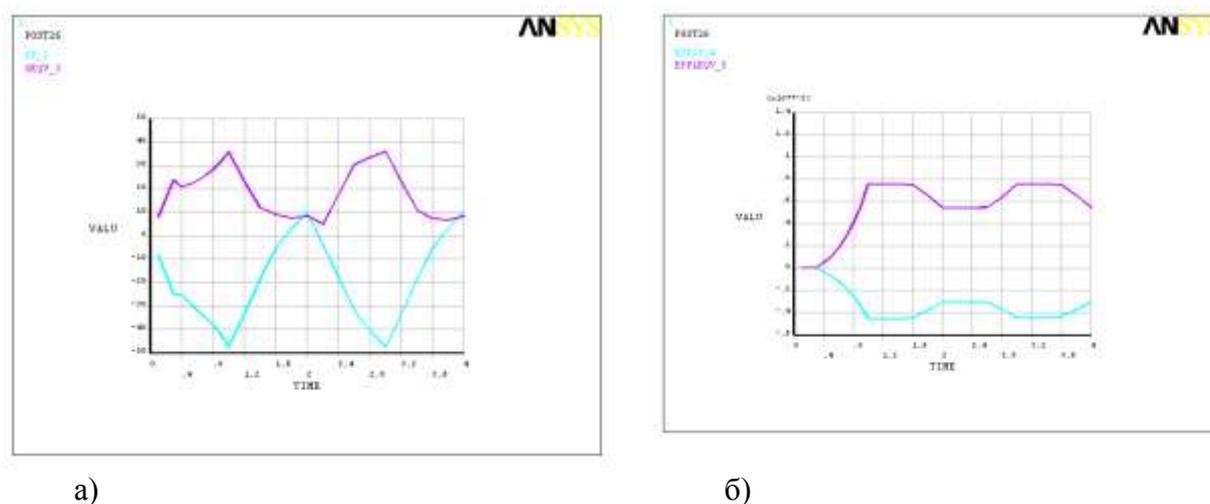


Рис. 4 –Результаты расчета элементарной ячейки: а) эквивалентные (верхняя линия) и нормальные напряжения (нижняя линия) вдоль края ячейки, б) эквивалентные пластические деформации (верхняя линия) и нормальные пластические деформации (нижняя линия) вдоль края ячейки.

Из приведенных графиков видно, что пластических деформаций обратного знака при разгрузке не возникает.

Созданная модель пригодна для решения задач на ячейке периодичности, определяющей реакцию структурно-неоднородной теплообменной пластины на характерные деформационные воздействия.

При нагружении расчетной модели давлением 3,0 МПа с одной стороны теплообменной поверхности напряжения превосходят предел текучести материала. Это не приводит к возникновению пластических деформаций порядка 0.8%.

Цикличность нагружения на моделируемую ситуацию влияния не оказывает.

На основе решения представленных выше задач и использования методик показанных в [3] получена матрица осредненных (эквивалентных) жесткостей, связывающих силовые и деформационные факторы, поверхности приведения пластины.

Список литературы:

1. *Андреев А. Н.* Многослойные анизотропные оболочки и пластины. /А. Н. Андреев, Ю. В. Немировский// - Новосибирск.: Наука, 2001. 287 с.
2. *Бахвалов Н.С.* Осреднение процессов в периодических средах. Математические задачи механики композиционных материалов. / Н.С.Бахвалов, Г.П. Панасенко // - М.: Наука, 1984, 352 с.
3. *Жидков А. В.* Численное решение квазистатических задач термоупругости для элементов конструкций из композиционных материалов. Журнал «Прикладные проблемы прочности и пластичности» А. В. Жидков, Н. В. Леонтьев, Н. А. Угодчиков //- Н.Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н. И . Лобачевского, 1996, т. 54. - С. 81-88.

В. В. Андреев к.т.н., Е. В. Тесленко

Институт ядерной энергетики и технической физики НГТУ им. Р.Е. Алексеева
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»
Россия, г. Нижний Новгород
vyach.andreev@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САД СИСТЕМАХ

Статья посвящена вопросам технологического сопровождения САД-проектирования интеллектуальной информационной системой на стадии конструкторской подготовки производства. Дан краткий обзор проблем, возникающих при использовании программных средств технологического проектирования (ПС ТП). Предложено решение проблемы путем автоматического формирования массива конструктивно-технологических признаков и синтеза технологического процесса на стадии рабочего проектирования интеллектуальной информационной системой.

Ключевые слова: САД, САРР системы, интеллектуальная информационная система, конструктивно-технологические признаки деталей, массив, синтез технологического процесса.

В современных экономических условиях для предприятий одним из ключевых факторов в борьбе за конкурентоспособность является максимально возможное сокращение сроков проектирования и освоения новой продукции. Один из путей решения этой задачи – использование информационных технологий поддержки жизненного цикла выпускаемой продукции.

Организационным принципом работы таких технологий является параллельное проектирование (concurrent engineering), позволяющее выполнять конструирование изделия и технологическую подготовку их производства со значительным совмещением этих процессов во времени. Однако при внедрении этого принципа уже на этапе конструкторско-технологического проектирования при преобразовании данных возникают существенные проблемы.

Современные САД (Computer Aided Design) системы являются мощными средствами геометрического моделирования изделий. Они освободили конструктора от громоздких расчетов, сложных построений и резко сократили сроки проектных работ.

Высокий уровень автоматизации достигнут на начальных стадиях разработки конструкторской документации, но остается низким в рабочем проектировании, когда в остром диалоге конструктора и технолога решаются задачи технологичности.

Отметим важное для нас обстоятельство - технологические признаки детали назначает конструктор в рабочей конструкторской документации. Он использует стандарты, справочные данные и доступную информацию об аналогах. Значительное влияние на процесс выбора оказывают технологические возможности предприятия, требования технических служб, условия производственных участков, рекомендации коллег. Системный анализ большого числа признаков представляет собой сложную многопараметрическую и многовариантную задачу, которая в рабочем проектировании сохранила субъективный характер.

Существующие САД системы не обеспечивают технологическую и метрологическую поддержку конструктора при проектировании деталей. Технологическое проектирование

остаётся двухуровневым и сохранило дискуссионный характер. Конструктор назначает технологические признаки в CAD системе. Технолог их использует в технологическом проектировании, для которого созданы системы CAPP (Computer-Aided Process Planning).

Современные CAD и CAPP системы автономны, не имеют общего интерфейса и пока плохо согласованы по форме и содержанию информации. Ясно, что эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной системе, будут доступны в другой.

Проблеме согласования CAD и CAPP систем посвящено множество работ, в котором можно выделить два направления. Первое - стандартизация информационного поля [1], второе – распознавание его образов и семантических построений [2].

Предлагается использовать методологию параллельного проектирования на этапе рабочего проектирования в среде CAD и, таким образом, снять системное противоречие за счет решения технологических задач непосредственно в CAD системе, оснащенной интеллектуальной информационной системой (ИСС) технологического проектирования АВТОТЕХНОЛОГ.

Система технологического проектирования представляет собой комплекс программ, содержащих известные алгоритмы назначения конструктивно-технологических признаков и нормативного решения технологических задач. Важная особенность системы – многовариантность решений и численная оценка их технологичности. Система работает автоматически, одновременно с конструктором, выполняющим рабочее проектирование детали, и предлагает технологические признаки поверхностей в соответствии с их назначением, действующими стандартами, правилами проектирования и метрологическими связями. Признаки, подтвержденные конструктором, система вводит в матрицы исходных данных технологического проектирования. Размерность матрицы исходных данных $n \times p$, где n - поверхности детали, p - признаки поверхностей (атрибуты) (рис 1).

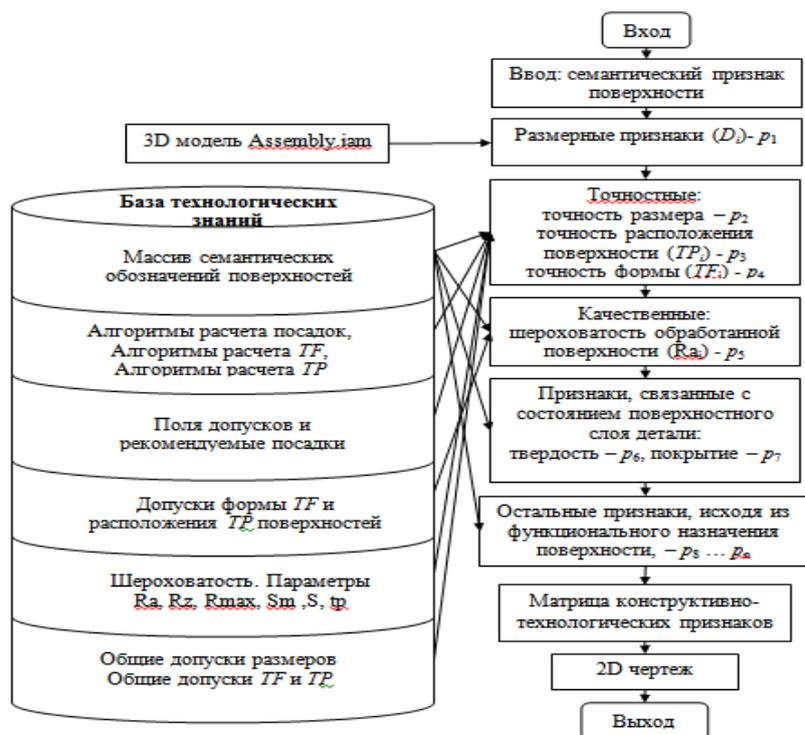


Рис. 1 - Структура программы формирования матрицы конструктивно-технологических признаков детали p_i

Назначение точности сопрягаемых поверхностей не всегда обеспечено расчетом. В таких случаях конструктор пользуется прототипом и использует посадки, подтвердившие работоспособность в конструкциях аналогичного назначения. Для реализации такого подхода в ИСС технологического проектирования сформирован массив семантических обозначений технологических признаков. Отметим, что понятие «семантическое обозначение» шире, чем понятие «термин». Оно может содержать варианты терминов, их запись на национальных языках, синонимы и трактовки различных источников. Семантические обозначения систематизированы в соответствии с технической терминологией основополагающих справочников [2]. Для автоматизированного назначения точностных и качественных признаков типовых поверхностей деталей и узлов машиностроения создан программный комплекс на языке программирования Visual Basic Application (VBA) на базе СУБД Access [3]. Поиск решения осуществляется по семантическому признаку поверхности детали, вводимому пользователем в командной строке или из меню признаков и размерному признаку с САД модели (рис. 1). Комплекс позволяет определить оптимальную посадку соединения поверхностей, поле допуска, допуск формы, допуск расположения, шероховатость на поверхности под подшипники качения, резьбовые поверхности и др. и автоматически сформировать матрицу признаков детали. Массив конструктивно-технологических признаков детали, автоматически формируемый ИСС, является исходным массивом данных для синтеза технологического процесса (ТП), комплексной оценки технологичности и контролепригодности. Параллельно работе конструктора интеллектуальной системой в теновом режиме синтезируется нормативный технологический процесс. Улучшение качества ТП достигается за счет использования автоматизированного многовариантного проектирования, применения математических методов оптимизации параметров и структуры процессов. Применение ИСС на стадии автоматизированного рабочего проектирования позволяет сократить трудоемкость процесса технической подготовки производства, существенно сократить количество доработок документации, изменить характер труда технолога, работа которого сводится к оценке технологических решений, которые в виде технологической документации выдает система. Таким образом, САД-проектирование обеспечивается квалифицированной технологической и метрологической поддержкой интеллектуальной информационной системой технологического сопровождения.

Список литературы:

1. *Соломенцев, Ю.М.* Информационно-вычислительные системы в машиностроении. CALS-технологии. / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков // - М.: Наука, 2003, 292с.
2. *Анурьев, В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: т.1.- 9-е изд., перераб. и доп./ Под ред. И.Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2006.- 928 с.
3. *Тесленко, Е.В., Супруненко, А.В., Андреев, В.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011618302. “Программный комплекс синтеза массива конструктивно-технологических признаков поверхностей для деталей машиностроения (Tesla normirovanie)”. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам 20.10.2011г.

В. В. Андреев д.т.н., А. В. Дунцев к.т.н., М. В. Турченко

Институт ядерной энергетики и технической физики
Нижегородского государственного технического университета им Р. Е. Алексева
кафедра “Ядерные энергетические установки”
Россия, г. Н. Новгород
max-turch@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ КАНАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе предлагается процедура определения коэффициента гидравлического трения при естественной циркуляции жидкости в канале с помощью обучения нейронной сети. В процессе обучения на входы сети подаются значения параметров, определяющих режим течения теплоносителя (в частности, мощность нагрева), а также данные, получаемые в результате эксперимента (температуры и расход), на выходе же мы должны получить прогнозируемые значения коэффициента гидравлического трения. После обучения ИНС, мы сможем прогнозировать изменение коэффициента гидравлического трения еще на ранних стадиях процесса, что позволит своевременно принять необходимые действия по управлению процессом развития ЕЦ.

Ключевые слова: естественная циркуляция, теплоноситель, гидравлическое сопротивление, искусственная нейронная сеть.

Определение гидравлического сопротивления в ламинарном неизотермическом потоке достаточно сложная задача. Кроме непостоянства потока из-за геометрических характеристик трассы существует также проблема, связанная с неизотермичностью потока. В неизотермическом потоке температура может изменяться и по живому сечению потока и по длине. Существенной величиной, влияющей на распределение скоростей и давлений в ламинарном потоке, является коэффициент вязкости жидкости. Непостоянство коэффициента вязкости жидкости в неизотермическом потоке является причиной нарушения законов распределения скоростей и давлений, свойственных изотермическому потоку (Рис. 1).

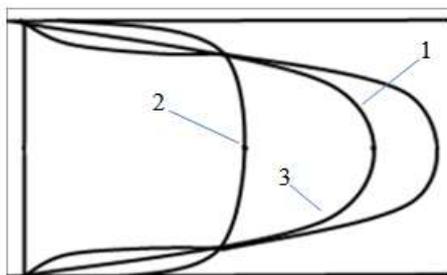


Рис. 1- Схема распределения скоростей в изотермическом и неизотермических ламинарных потоках:

**1 – изотермический поток; 2 – неизотермический поток (нагревание);
3 – неизотермический поток (охлаждение).**

Важной особенностью неизотермического потока является и то, что вследствие неодинаковой температуры жидкости в потоке возникают конвекционные течения, как

правило, также изменяющие распределение скоростей, соответствующее изотермическому потоку. Это особенно проявляется в трубопроводах, расположенных вертикально. В общем случае конвекционные течения могут являться причиной нарушения равномерности движения потока и даже его ламинарности.

Неизотермический ламинарный поток изучен недостаточно, из-за отсутствия средств измерения не изменяющих структуру потока. Ниже будет рассмотрен случай приближенного решения лишь одного частного случая, а именно определения потерь энергии в потоке неизотермическом только по длине. Так как полная потеря энергии по всей длине равна сумме потерь на элементарных участках, ее можно приближенно определить, рассматривая движение на каждом элементарном участке трубопровода как изотермическое, по формуле:

$$h_d = \frac{G^2}{2g\omega^2 d} \int_0^l \frac{\lambda}{\gamma^2} dl \quad (1)$$

Для такого решения вопроса нужно знать закон распределения температуры вдоль трубопровода. Это позволит приближенно определить для каждого участка трубопровода коэффициент вязкости жидкости, объемный вес, число Рейнольдса и коэффициент λ .

Интеграл $\int_0^l \frac{\lambda}{\gamma^2} dl$ можно также вычислить, если изобразить зависимость $\frac{\lambda}{\gamma^2}$ от l графически. В этом случае он будет равен площади под функцией $f(\frac{\lambda}{\gamma^2})$. При этом следует обратить внимание, что при нахождении λ по диаграмме Никурадзе мы сталкиваемся с изменением вида диаграммы в зависимости от температуры потока [1].

Недостаточный объем экспериментальных данных и сложности с построением аналитических зависимостей заставляют использовать в качестве альтернативного средства формирования моделей исследуемого процесса искусственные нейронные сети.

Нейронные сети позволяют с любой точностью вычислять произвольную непрерывную функцию. Следовательно, с их помощью можно сколь угодно точно аппроксимировать функцию, порожденную любой непрерывной системой.

Многослойная сеть с одним скрытым слоем и сигмоидными функциями активации, обучаемая по градиентному алгоритму, может аппроксимировать функции с заданной точностью в случае отсутствия ограничения на число базовых элементов в слое [2].

Принципиальная схема экспериментальной установки изображена на рисунке 2. Она представляет собой замкнутый контур циркуляции 1. Мощность нагрева варьируется от 0 до 10 кВт.

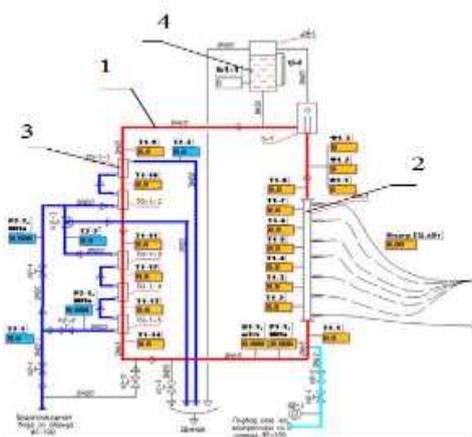


Рис. 2- Схема экспериментальной установки:

1 – замкнутый контур циркуляции теплоносителя, 2 – подъемный участок, 3 – опускной участок, 4 – бак запаса теплоносителя.

В контуре имеется обогреваемый пропусканием электрического тока подъемный участок 2 и охлаждаемый водопроводной водой опускной участок контура циркуляции 3. Вследствие, разности температур в контуре развивается естественная циркуляция.

В ходе эксперимента получаем распределение температур по контуру. По полученным данным определяется скорость теплоносителя, число Рейнольдса и коэффициент гидравлического трения. Результаты расчета представлены в таблице.

Таблица - Результаты расчета параметров потока теплоносителя.

M, кг/ч	Q, м3/ч	V, м/с	ν , (м2/с)x 10-6	Re	λ
0,385433	0,000385	3,67E-05	0,801	2,792294	22,92022
0,441496	0,000441	4,2E-05	0,475	5,39359	11,86594
0,539607	0,00054	5,13E-05	0,413	7,581789	8,44128
0,458157	0,000458	4,36E-05	0,365	7,283926	8,786471
0,495557	0,000496	4,71E-05	0,326	8,821056	7,255367
0,476123	0,000476	4,53E-05	0,326	8,475132	7,551505
0,564705	0,000565	5,37E-05	0,294	11,14599	5,741978
0,527876	0,000528	5,02E-05	0,294	10,41907	6,142581
0,622623	0,000623	5,92E-05	0,294	12,28916	5,20784
0,527876	0,000528	5,02E-05	0,294	10,41907	6,142581

Нахождение величины коэффициента гидравлического трения, выполняем с использованием искусственной нейронной сети. С помощью экспериментальных данных мы сможем обучить нейронную сеть. В процессе обучения на входы сети подаются значения параметров, определяющих режим течения теплоносителя (в частности, мощность нагрева), а также данные, получаемые в результате эксперимента (распределение температуры), на выходе же мы должны получить прогнозируемые значения коэффициента гидравлического трения. После того как ИНС будет обучена, мы сможем прогнозировать изменение коэффициента гидравлического трения еще на ранних стадиях процесса, что позволит своевременно принять необходимые действия по управлению процессом развития ЕЦ.

Выводы

1. С помощью представленной в работе экспериментальной установки и использования расчетных программ, реализующих искусственную нейронную сеть, возможно решение задачи по нахождению коэффициента гидравлического трения в неизотермическом по длине потоке для неустановившегося режима течения жидкости.

2. Одним из результатов решения поставленной задачи, может явиться аппроксимация экспериментальных и расчетных данных в виде зависимости коэффициента гидравлического трения от скорости потока и температуры рабочего тела. Данная поверхность позволит уйти от необходимости использования приближенных кривых Рейнольдса, а также использовать данные, полученные при развитии циркуляции, а не при ее установившихся значениях.

3. Построение этой обобщенной поверхности позволит визуализировать и предсказать поведение жидкости в канале, что, в свою очередь, даст возможность выбирать область работы установки с наименьшими потерями энергии потока, а также влиять на поток жидкости, используя имеющиеся для этого способы.

Список литературы:

1. Никулин В.А. Гидрогазодинамика течений с тепломассообменом. /В.А. Никулин/- Ижевск. 1988.-215с.
2. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика/ В.В. Круглов, В.В. Борисов/ - М.: Горячая линия - Телеком, 2001. -382 с.;

**А. А. Антонникова, О. Б. Кудряшова к.ф.-м.н., М. В. Хмелев,
А. В. Шалунов к.т.н.**

Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО "Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова"
кафедра Методов и средств измерений и автоматизации
Россия, г. Бийск
shalunov@bti.secna.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-369.2011.8.

В статье описаны результаты исследования процесса коагуляции аэрозолей под действием акустических колебаний с частотой более 20 кГц, генерируемых при помощи дисковых излучателей, возбуждаемых пьезоэлектрическими преобразователями. Показано, что воздействие ультразвуковых колебаний ускоряет осаждение аэрозоля более чем в 2 раза за счет укрупнения частиц.

Ключевые слова: аэрозоль, ультразвуковое воздействие, коагуляция

Проблема очистки воздушного бассейна от загрязнения промышленными аэрозолями (как жидкокапельными, так и твердофазными) в настоящее время крайне актуальна. Это связано с тем, что гигантские по массе выбросы представляют непосредственную угрозу, как для человека, так и для биосферы в целом. Применяемое на практике пыле- и каплеулавливающее оборудование не всегда позволяет эффективно решать рассматриваемую проблему.

Одним из возможных направлений решения проблемы очистки является применение акустической коагуляции. Проведенные ранее в Англии, Германии, Советском Союзе и США [1] исследования подтвердили интенсифицирующее воздействие звука на процесс пыли и туманоулавливания. Анализ результатов проведенных ранее исследований позволил установить, что все исследования процесса акустической коагуляции проводились в низкочастотном диапазоне (до 20 кГц). Вместе с тем, авторами этих же исследований неоднократно отмечалось, что использование низкочастотных колебаний не всегда эффективно.

При этом, использование колебаний только низкочастотного диапазона было обусловлено техническими характеристиками применяемых ранее газоструйных излучателей.

Возможной альтернативой устаревшим газоструйным излучателям, в настоящее время, могут служить дисковые пьезоэлектрические излучатели (ультразвуковые колебательные системы – УКЗС) [2,3], разработанные в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института АлтГТУ.

Внешний вид используемого излучателя представлен на рисунке 1, а технические характеристики приведены в таблице.



Рис. 1 – УЗКС с излучателем диаметром 360 мм.

Созданный излучатель обеспечивает ультразвуковое (УЗ) воздействие на частоте 23 кГц с уровнем звукового давления не менее 146 дБ на расстоянии 1 м. Для проведения исследований, направленных на определение эффективности коагуляции на УЗ частотах была использована экспериментальная установка, основу которой составляет аэрозольная камера в форме куба объемом 1 м³. В верхней части камеры установлен УЗ излучатель. Опыты проводились при различных значениях температуры окружающей среды: 25 °С и 16 °С.

В качестве объекта экспериментов выступали жидкостный и твердофазный аэрозоли. Для создания жидкостного аэрозоля использовался ультразвуковой ингалятор «Муссон-2» (диаметр формируемых частиц 3-5 мкм). В опытах по осаждению твердофазного аэрозоля использовалась мука со средним размером частиц 10 мкм.

Для определения дисперсности и концентрации частиц аэрозоля применялся модифицированный метод малоуглового рассеяния, основанный на нахождении функции распределения частиц по размерам путем решения серии прямых задач оптики аэрозолей [4]. Результаты проведенных исследований представлены в виде графиков на рисунках 2, 3, 4.

На рисунке 2 приведена зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) водяного аэрозоля от времени без ультразвукового воздействия (1) и с УЗ воздействием (2).

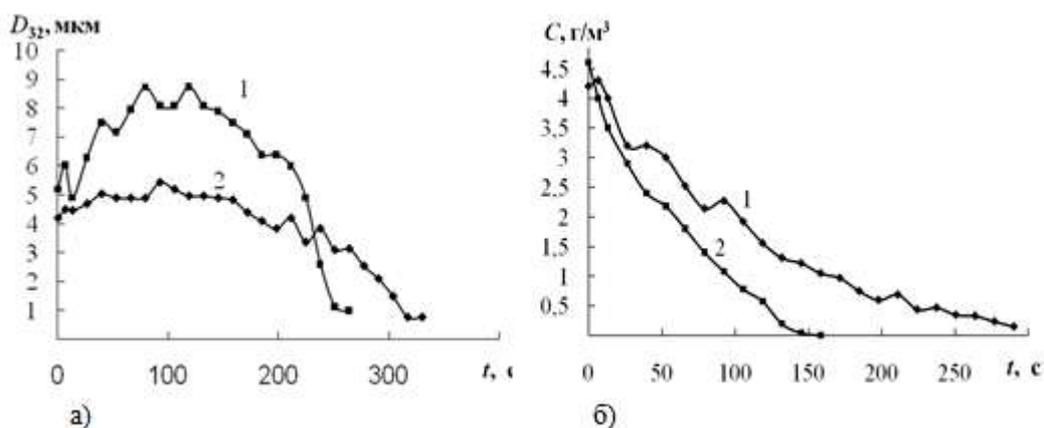


Рис. 2 – Графики зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) водяного аэрозоля от времени без УЗ воздействия (1) и с УЗ воздействием (2); температура среды 25 °С .

В результате УЗ воздействия в течение 1-2 минут происходит увеличение диаметра частиц, как следствие происходит почти в двухкратное ускорение увеличения скорости

осаждения. Полное осаждение аэрозоля при наличии УЗ воздействия происходит за 160 секунд (2), в контрольном опыте без воздействия – за 320 секунд (3).

На рисунке 3 приведены аналогичные зависимости, полученные для жидкостных аэрозолей при более низкой температуре окружающей среды.

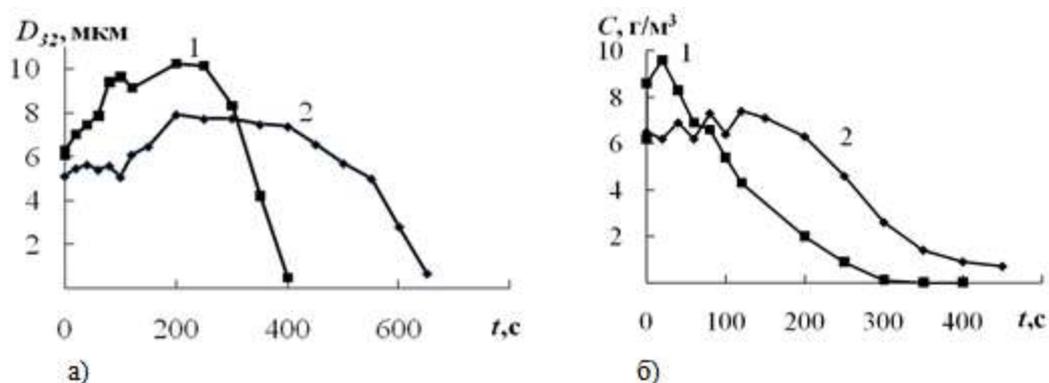


Рис. 3 – Графики зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) водяного аэрозоля от времени без УЗ воздействия (1) и с УЗ воздействием (2); температура среды $16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из зависимостей, представленных на рисунке 3, следует, что даже такое незначительное снижение температуры (на $9\text{ }^{\circ}\text{C}$) существенно увеличивает время осаждения водного аэрозоля. Однако, как и в предыдущем опыте, применение ультразвука повышает скорость осаждения не менее чем в два раза.

На рисунке 4 приведены аналогичные зависимости для процесса коагуляции распыленной муки. Из зависимости на рисунке 4,а видно, что на начальном этапе УЗ воздействия происходит резкое, значительное увеличение (в 2,5 раза) среднего диаметра частиц, что сопровождается быстрым (в два раза с $0,8\text{ г/м}^3$ до $0,4\text{ г/м}^3$) уменьшением концентрации аэрозоля за время до 150 сек (рис. 4,б). Для сравнения, в контрольном опыте без УЗ воздействия изменение концентрации происходит всего на $0,1\text{ г/м}^3$ с $0,5\text{ г/м}^3$ до $0,4\text{ г/м}^3$. После 150 сек эффект от ультразвукового воздействия заметно уменьшается (увеличение размеров частиц вследствие УЗ коагуляции составляет только 10-30%), что, по видимому, связано с малой концентрацией аэрозоля (менее $0,4\text{ г/м}^3$).

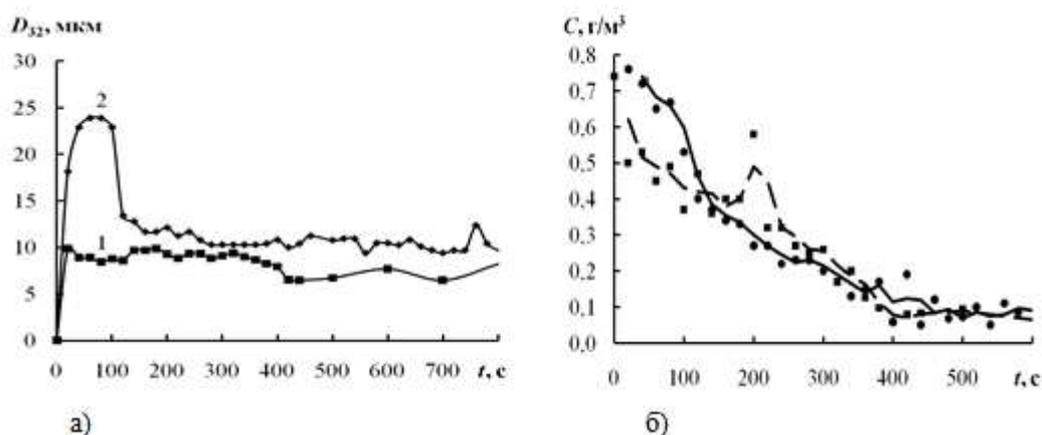


Рис. 4 – График зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра частиц D_{32} (а) и концентрации частиц (б) распыленной муки от времени без УЗ воздействия (1) и с УЗ воздействием (2).

Полное осаждение аэрозоля при УЗ воздействии происходит через 10,5 минут, в контрольном опыте – через 15 минут. В результате проведенных экспериментов, установлено, что воздействие УЗ колебаниями на твердофазные аэрозоли наиболее эффективно при концентрациях более 0,4 г/м³.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлена эффективность применения УЗ колебаний для коагуляции аэрозолей с различной дисперсной фазой, установлена минимальная концентрация аэрозоля, при которой целесообразно воздействие УЗ колебаниями. Полученные зависимости изменения среднего диаметра капель и концентрации аэрозоля в процессе УЗ воздействия могут быть использованы при проектировании газоочистного оборудования, основанного на использовании процесса коагуляции при помощи излучателей ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Список литературы:

1. Физические основы ультразвуковой технологии/ под. ред. Розенберг – М.:Наука, 1968. – 688 с.
2. Хмелев, В.Н. Акустическая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 228 с.
3. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Шалунова К.В. Комплексное исследование акустической коагуляции мелкодисперсного аэрозоля // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 303–309.
4. Kudryashova O.B., Akhmadeev I.R., Pavlenko A.A., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S. A method for measurement of disperse composition and concentration of aerosol particles / Proceedings of ISMTII-2009 29 June – 2 July, 2009. In 4 V.; V. 2. – Saint-Peterburg, 2009. – Pp. 178-183.

В. Ф. Беккер к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Березниковский филиал
кафедра автоматизации технологических процессов
Россия, г. Березники
bekker@bf.pstu.ac.ru

ВЫБОР ФОРМЫ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАСАДОЧНЫХ ТЕЛ В АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Исследовано влияние формы внешней поверхности элементов вращающейся подвижной насадки выпуклой формы на гидродинамику трехфазного псевдооживленного слоя в рабочем объеме аппарата. В качестве критерия эффективности формы подвижной насадки рассматривалась удельная поверхность контакта газа с жидкостью. Исследованы основные факторы, влияющие на характер взаимодействия фаз в псевдооживленном слое. Предложена методика выбора активного элемента подвижной насадки из ряда внешних поверхностей выпуклой многогранной формы.

Ключевые слова: подвижная насадка, трехфазный псевдооживленный слой, газо-жидкостная система.

Особенностью абсорберов с подвижной вращающейся насадкой (АПН) является присутствие в рабочей зоне аппарата движущихся элементов подвижной насадки. Элементы насадки, находясь во взвешенном вращающемся состоянии, (условия, обеспечивающие вращение, приведены в [3]) совершают хаотические и пульсационные движения, предотвращая образование сквозных каналов и способствуя равномерному распределению, турбулизации и диспергированию газожидкостного потока. Существенным фактором, определяющим характер взаимодействия фаз в псевдооживленном объеме, являются размеры и форма насадочных тел. Учитывая вклад этого обстоятельства, необходимо количественно оценивать интенсивность гидродинамических режимов работы, от которых зависит эффективность процесса.

В качестве одного из возможных критериев оценки эффективности рассмотрена зависимость перепада давления от геометрической формы элементов насадки [1]. Величина $- DP/L$ выражает суммарную силу сопротивления всех частиц, приходящуюся на единицу длины

$$- \frac{DP}{L} = \frac{f \gamma U^2}{D_p \gamma^2} \frac{1 - e}{(e - e_b)^2},$$

где DP – перепад давления, Па; L – высота слоя, м; f – фактор трения; γ – плотность газа, кг/м³; U – скорость газа, отнесенная к поперечному сечению пустой колонны, м/с; D_p – эквивалентный диаметр частицы, м; γ – сферичность частицы; e – средняя порозность слоя (отношение объема пор к общему объему слоя насадки); e_b – параметр, характеризующий величину застойной зоны, который равен отношению объема пустот, непроницаемых для потока, к общему объему насадочного слоя.

В правой части приведенного уравнения пять факторов f , D_p , U , ε и ε_b зависят от размеров и формы насадочных тел. Фактор трения здесь выступает как функция фактора формы K и согласно корреляции полученных данных [1] определяется

$$f = (4,41...3,2)K,$$

где K – фактор формы сферической, цилиндрической и эллипсоидной частицы определяется отношением средней площади проекции частицы во всех возможных ориентациях ее в пространстве к площади проекции сферической частицы того же объема.

Для определения ε_b в зависимости от формы насадочного тела предложен [1] целый ряд эмпирических зависимостей, например, для слоя беспорядочно засыпанных сферических частиц (при $e = 0,51$) установлена зависимость

$$\varepsilon_b = 1,6\psi(e - 0,2)\psi(1 - e).$$

Зависимость между перепадом давления и числом Рейнольдса для насадок различной широко распространенной на практике формы представлена на рис. 1. Высота статического слоя принята $H_{ст} = 21,3...64,0$ см. Наименьшие значения сопротивления слоя соответствуют насадочным телам сферической и цилиндрической формы, причем цилиндрическим элементам насадки соответствуют большие числа Re , а значит и большие скорости.

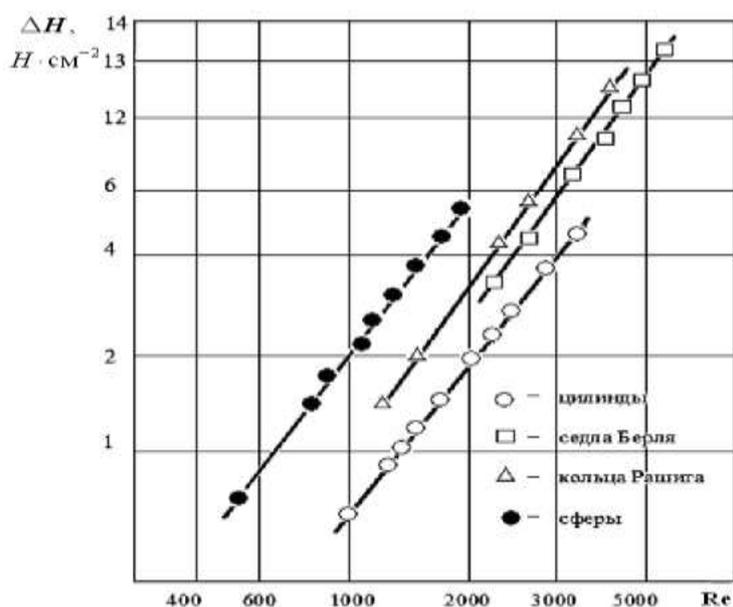


Рис. 1. Зависимость перепада давления на псевдооживленном слое от гидродинамического режима в аппарате $\Delta P(Re)$ для различной формы насадки.

Предложенная в работе [1] оценка характеристики насадочного слоя при различных формах элементов насадки характеризует затраты энергии на проведение процесса, однако не позволяет оценить качественные показатели псевдооживленного слоя. Для устранения этой проблемы проведены исследования гидродинамики трехфазного псевдооживленного слоя в отдельной секции аппарата с вращающейся подвижной насадкой.

При абсорбционных процессах массообмен происходит на поверхности соприкосновения фаз, поэтому абсорбционные аппараты должны иметь развитую поверхность контакта между газом и жидкостью. Это обстоятельство делает возможным количественно оценивать интенсивность гидродинамических режимов работы АПН величиной удельной поверхности контакта взаимодействующих фаз (ПКФ).

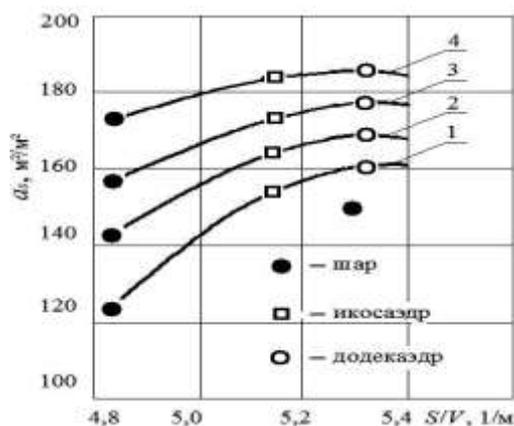


Рис. 2. Зависимости удельной поверхности контакта фаз от отношения площади поверхности к объему насадочного тела в форме шара, додекаэдра, икосаэдра (плотность орошения $1,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; скорости газа: 1 – $1,56 \text{ м/с}$, 2 – $1,6 \text{ м/с}$, 3 – $1,68 \text{ м/с}$, 4 – $1,74 \text{ м/с}$).

Удельная ПКФ), выраженная в $\text{м}^2/\text{м}^3$, определена статистическим методом измерения [2] с помощью электронно-счетной измерительной системы (ЭСИС) по следующему выражению

$$\dot{a} = \frac{2 \sum w}{M \cdot L},$$

где w – количество ситуаций, в которых граница раздела фаз находится между точечными электродами ЭСИС; M – общее количество измерений; L – расстояние между точечными электродами.

Метод измерения ПКФ, предложенный в [2], позволяет провести сравнительный анализ эффективности насадочных элементов различной формы. В качестве идентификатора перемешивающих свойств выпуклых насадочных тел предложено применять отношение площади поверхности тела к его объему S/V . На рис. 2 представлены результаты исследования эффективности насадок различной формы.

В результате проведенных исследований выявлено, что при одинаковых скоростях газа насадочные тела в форме правильных многогранников – икосаэдра и додекаэдра [2] развивают значительно большую ПКФ, чем шаровая насадка, исследованная достаточно полно в [4]. Это свидетельствует о существенно более высокой интенсивности процессов, протекающих в псевдооживленном слое. Так же можно сделать вывод о том, что при выборе активной формы насадки следует отдавать предпочтение конструкциям, имеющим большую величину S/V – отношения площади внешней поверхности к объему насадочного тела.

Список литературы:

1. Gauvin William H., Katta Satyanarayana. Momentum transfer through packed beds of various particles in the turbulent flow regime. // AIChE Journal V.19, №4. 1973. – P. 775-783.
2. Беккер В.Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2009. – 208 с.: ил.
3. Беккер В.Ф., Кафаров В.В., Шумихин А.Г., Черепанов А.И. Влияние распределения массы по объему насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в трехфазном псевдооживленном слое. ТОХТ Том XXII. 1988.– С.581–582.
4. Заминян А.А., Рамм В.М. Абсорберы с псевдооживленной насадкой. М.: Химия, 1980. – 184 с.

О. В. Блажнова, Д. Г. Портнягин, Ю. В. Селиванов к.т.н.

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет
Россия, г. Абакан
my4455@yandex.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОГО ШЛАКА ТЭЦ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА

В статье приведены результаты исследования структуры, фазового состава и свойств пеностеклокристаллических материалов, получаемых по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига, из композиций на основе стеклобоя и высококальциевого шлака от сжигания бурых углей. Установлено, что высококальциевый шлак в количестве 30-40% с размером частиц менее 0,16 мм можно эффективно использовать в качестве заменителя стеклобоя в композициях для получения пеностеклокристаллических материалов при температуре обжига 800°C.

Ключевые слова: пеностеклокристаллические материалы, высококальциевый шлак, энергоэффективная технология, структура, фазовый состав, свойства.

Наибольший практический интерес для теплоизоляции строительных конструкций представляют био- и коррозионостойкие, негигроскопичные и несгораемые теплоизоляционные материалы. Примерами таких материалов могут быть пеностекло и подобные ему пеностеклокристаллические материалы [2, 5]. К настоящему времени накоплен значительный научный и практический опыт их получения и применения. Однако остаются актуальными вопросы территориального размещения предприятий по их производству. Например, на восток от Омска и Томска на расстоянии более 5000 км производство пеностекла и пеностеклокристаллических материалов отсутствует. Проблема заключается в обеспечении их производства сырьем в виде вторичного стеклобоя, наличие которого имеется не везде. Поэтому задача получения пеностекла и пеностеклокристаллических материалов из масс с пониженным расходом стеклобоя является актуальной.

Исследования последних лет показывают [3, 4, 6, 7], что в направлении ее решения большое значение приобретает использование новых видов сырья и отходов производств. Цель данной работы – установить возможность применения в составах масс для пеностеклокристаллических материалов, получаемых при температуре обжига 800-850°C, высококальциевого шлака от сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна. На этих углях работают ТЭЦ многих регионов России, в том числе Хакасии, Красноярского и Алтайского краев, Иркутской и Новосибирской областей. Поэтому как вид сырьевого компонента для получения пеностеклокристаллических материалов высококальциевый шлак является недефицитным. Однако исследования по его применению в направлении получения пеностеклокристаллических материалов по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига отсутствуют.

Для выполнения экспериментальных исследований в композициях со стеклобоем из смеси оконного и тарного стекла в соотношении 1:1 применяли высококальциевый шлак Абаканской ТЭЦ. Химические составы сырьевых компонентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов.

Наименование сырья	Содержание оксидов, % мас.							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Стеклобой	67,40	5,81	1,76	7,21	3,38	12,73	2,00	–
Высококальциевый шлак	50,69	8,09	8,94	27,51	3,50	0,27	0,20	0,8

Анализ рентгенограммы высококальциевого шлака показал, что он имеет подобное стеклобою аморфное строение и сложен в основном (80-90%) стеклофазой кальций-ферроалюмосиликатного состава и кристаллофазой (10-20%) из минералов кварца, анортита, диопсида и волластонита. Аморфное строение шлака является предпосылкой для его эффективного использования в качестве заменителя части стеклобоя в составах композиций для пеностеклокристаллических материалов. Наличие анортита, диопсида и волластонита является предпосылкой для обеспечения прочности межпоровых перегородок вспененного материала после обжига.

Выявление возможности применения высококальциевого шлака для получения пеностеклокристаллических материалов проводили путем комплексной оценки их структуры, фазового состава и свойств при изменении содержания и дисперсности компонентов в составах композиций. Так, содержание высококальциевого шлака в композициях со стеклобоем изменяли от 10 до 90% с целью определения максимального его количества и замены им как можно большей части стеклобоя. Тонкость помола стеклобоя как активатора плавления композиций соответствовала остатку не более 5% на сите с размером ячейки 0,063мм, при которой обеспечивается появление расплава в обжиговых материалах при температуре 700-800°С [1]. Шлак как вовлекаемый в процесс плавления компонент использовали более грубого помола: с тонкостью до прохождения частиц через сито с размером ячейки 0,16 и 0,315 мм.

Для оценки вспенивания композиций из них изготавливали гранулы размером 8-10 мм на тарельчатом грануляторе. В качестве связки при грануляции композиций применяли воду в количестве 16-18% или жидкое стекло с плотностью 1400 кг/м³ в количестве 30%, выбранные как достаточные для обеспечения грануляции. Гранулы обжигали при температуре от 500 до 850°С с выдержкой 20 мин при конечной температуре.

Определение насыпной плотности и прочности пеностеклокристаллических материалов проводили в соответствии с требованиями действующего стандарта (ГОСТ 9758-86). Для исследования микроструктуры пеностеклокристаллических материалов применяли оптический микроскоп «Webbers F2CN Digital Micriscope», соединенный с цифровой камерой и компьютером. Для определения фазового состава материалов использовали установку ДРОН-3М.

Графические зависимости, приведенные на рисунке 1, показывают, что наилучшее сочетание вспенивания и снижения насыпной плотности гранул достигается при использовании для их изготовления из смеси стеклобоя и высококальциевого шлака в количестве 30-40%, гранулированных с применением жидкого стекла плотностью 1400 кг/м³ в количестве 30%. Причем эффект вспенивания и снижения насыпной плотности гранул наиболее интенсивно проявляется при использовании в составах композиций для их изготовления шлака с размером частиц менее 0,16 мм. Так, после обжига при температуре 800°С коэффициент вспенивания гранул, изготовленных из композиций стеклобоя с добавкой шлака с тонкостью помола менее 0,16 мм в количестве 30-40%, составляет 10,5-10,7, насыпная плотность – 180-190 кг/м³ против 8,8-9,0 и 220-230 кг/м³ соответственно для гранул, полученных при тех же условиях из композиций на основе стеклобоя без добавки шлака.

Прочность при сжатии в цилиндре гранул из композиций стеклобоя с добавкой шлака в количестве 30-40% сохраняется практически на том же уровне, что и прочность при сжатии в цилиндре гранул на основе стеклобоя без его добавки, несмотря на увеличение объема

гранул и связанное с этим возможное снижение толщины стенок и увеличение межзерновой пустотности при засыпке их в цилиндр. Прочность же самих гранул из композиций стеклобоя с добавкой шлака более высокая по сравнению с прочностью гранул на основе стеклобоя без его добавки и составляет 4,1-4,5 против 1,8 МПа (таблица 2). Кроме того, материалы обладают более высоким коэффициентом конструктивного качества, определяемого отношением прочности при сжатии в цилиндре к его насыпной плотности (0,054-0,056 против 0,053).

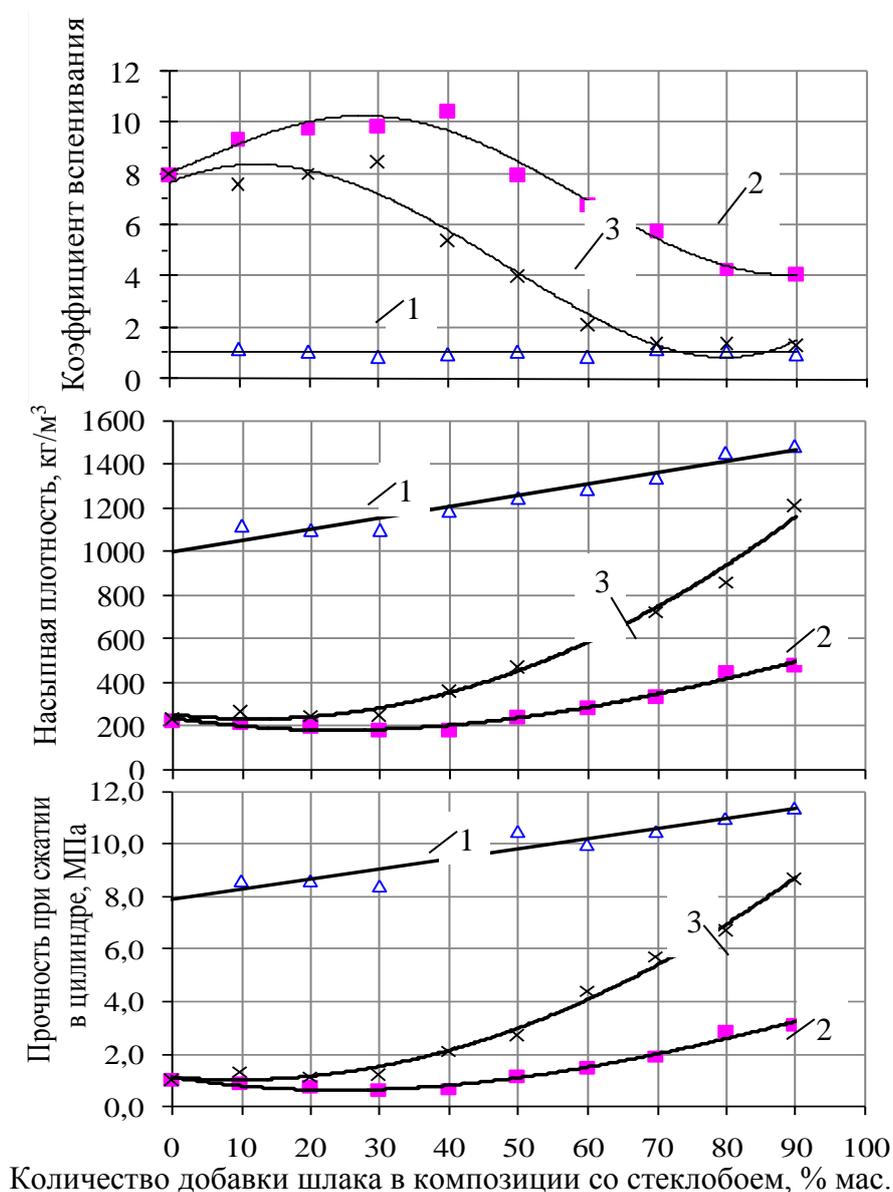


Рис. 1 – Изменение коэффициента вспенивания, насыпной плотности и прочности гранул при сжатии в цилиндре, обожженных при температуре 800°С, в зависимости от содержания и размера частиц шлака в композиции для их получения с использованием воды при грануляции (1) и жидкого стекла (2, 3) в количестве 30% (размер частиц шлака: 1, 2 – менее 0,16 мм; 3 – менее 0,315 мм).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика свойств пеностеклокристаллических материалов.

Состав	Прочность	Насыпная	Прочность при	Кoeffициент
--------	-----------	----------	---------------	-------------

материала, % мас.	гранул, МПа	плотность, кг/м ³	сжатии в цилиндре, МПа	конструктивного качества
Стеклобой (100%)	1,8	220-230	1,2	0,053
Стеклобой (70%), шлак (30%)	4,5	180-190	1,0	0,054
Стеклобой (60%), шлак (40%)	4,1	190-200	1,1	0,056

Экспериментальными исследованиями установлено, что увеличение объема гранул и снижение насыпной плотности активно протекает при обжиге в интервале температур 700-800°C с формированием закрытой пористости при образовании ровной и гладкой поверхности самих гранул (рисунок 2).



Рис. 2 – Изменение объема и пористости гранул из композиций стеклобоя с добавкой 40% (1) и 30% (2) высококальциевого шлака в зависимости от температуры обжига.

Структура гранул характеризуется равномерно распределенными мелкими изолированными порами с гладкими припоровыми стенками. Поры с прозрачными стенками, являющиеся, как известно [2], результатом ликвационных процессов, которые впоследствии разрушаются с образованием открытой пористости, в гранулах отсутствуют, что является гарантией стабильности прочности и теплозащитных свойств исследованных свойств пеностеклокристаллических материалов.

Рентгенофазовый анализ пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака в количестве 30-40%, гранулированных с применением жидкого стекла, показал, что после обжига при температуре 800°C они сложены преимущественно аморфной (80-90%) фазой и кристаллофазой (10-20%), которая представлена волластонитом и анортитом, упрочняющих материалы [7].

Обжиг гранул при температуре 850°C сопровождается уменьшением их размера, увеличением насыпной плотности с 180-200 кг/м³ до 250-260 кг/м³ и образованием крупных кратерообразных пор на их поверхности, свидетельствующим об их пережоге.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что высококальциевый шлак от сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна в количестве 30-40% можно эффективно использовать в качестве заменителя стеклобоя в композициях для получения пеностеклокристаллических материалов по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига.

Список литературы:

1. Будников П. П., Бережной А. С. Химическая технология керамики и огнеупоров. М.: Стройиздат, 1972. 552 с.
2. Демидович Б. К. Пеностекло. Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
3. Иванов К. С., Радаев С. С. Обжиговой теплоизоляционный материал из диатомита и щелочи // Строительные материалы. 2010. № 11. С. 36-37.
4. Казьмина О. В., Верещагин В. И., Абьяка А. Н. Расширение сырьевой базы для производства пеностеклокристаллических материалов // Строительные материалы. 2009. № 7. С. 54-55.
5. Manevich V.E., Subbotin K.Yu. Foam glass and problems of energy conservation / Glass ceram. 2008. No. 65. p. 105-108.
6. Мюллер А., Верещагин В. И., Соколова С. Н. Гранулированные материалы из природного и техногенного сырья // Строительные материалы. 2005. №7. С. 23-26
7. Соколова, С. Н. Пористый гранулированный материал из цеолитсодержащих пород с углеродистыми газообразователями // Строительные материалы. 2008. № 9. С. 97-98.

А. В. Богданов

Кумертауский филиал Оренбургского государственного университета
Россия, г. Кумертау
bogdan-ogu@rambler.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМ КОТЛОМ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО ЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

Предложена система регулирования основных параметров парового котла тепловой электростанции на основе многомерного четкого логического регулятора (МЧЛР), которая позволяет повысить экономичность процесса горения. Компенсация взаимного влияния контуров регулирования произведена дополнительной системой продукционных правил, генерирующей функцию, являющейся зеркальным отображением относительно оси задающего воздействия функции, связывающей рассматривающий контур МЧЛР с остальными его контурами. Компенсирующая система получена на основе результатов восьми экспериментов на реальном объекте управления.

Ключевые слова: энергосбережение, четкие термы, компенсирующая система продукционных правил, четкий логический регулятор, барабанный паровой котел.

В настоящее время при производстве электроэнергии на тепловых электростанциях (ТЭС) потери энергии в больших объемах [3, 5, 7] во многом обусловлены автономным ПИД-регулированием технологических параметров барабанных паровых котлов (БПК), являющимися многосвязными объектами управления. Неадекватность такой концепции управления БПК следует из нелинейности в широком диапазоне и взаимного влияния регулируемых параметров барабанного парового котла. Многочисленные попытки построить многомерный ПИД-регулятор с компенсацией взаимного влияния регулируемых параметров БПК [3, 7] с приемлемой погрешностью не увенчались успехом. Поэтому применяемые в настоящее время схемы регулирования экономичности процесса горения барабанных паровых котлов тепловых электростанций не позволяют настроить технологический процесс на устойчивую работу с необходимой точностью.

Не удалось упомянутую задачу решить и с помощью нечетких логических регуляторов [1, 2], хотя их парадигма – управлять многомерными нелинейными объектами, которые удастся представить в виде вербальной модели, концептуально соответствует сложному и в силу этого существующего в словесной форме алгоритму управления БПК. Кроме того, в многомерных нечетких логических регуляторах из-за введения избыточной неопределенности при интерпретации входных и выходных переменных совокупностью нечетких термов возникли трудности при компенсации взаимного влияния контуров регулирования [4, 6].

Анализ процессов в БПК показывает [3,5], что для их управления наиболее приемлемой является система управления на основе многомерного четкого логического регулятора (МЧЛР) [6], который благодаря близости идеологии логического управления с четкими термами к человеческому мышлению и естественному языку, позволяют построить алгоритм управления, адекватный реальному технологическому процессу, протекающему в барабанном паровом котле [3]. МЧЛР позволяют автоматизировать сложный процесс, описанный в вербальной форме по модели, в которой благодаря четким термам удалось свести к минимуму неопределенность при сохранении адекватности управления по словесному описанию функционирования объекта.

Для реализации управления процессами в БПК с помощью МЧЛР на рисунке 1 представлена её концептуальная модель с указанием связей между входными и выходными переменными [3, 5]. Причем связь входной переменной со «своей» выходной переменной обозначена сплошной линией (например, переменные Q_T и S_T), а связь входной переменной с регулируемой переменной другого контура МЧЛР – пунктирной линией (например, переменные Q_T и O_2).

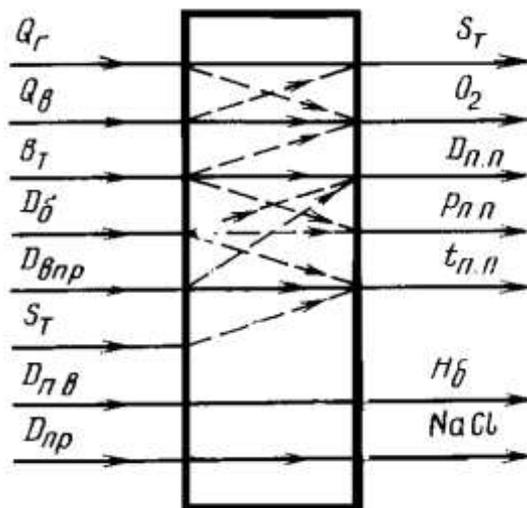


Рис. 1 – Концептуальная модель барабанного парового котла:

Q_B – количество воздуха, подаваемое в топку (на 1 кг топлива $7,4 \text{ м}^3/\text{кг}$); Q_T – дымовые газы (на 1 кг топлива $6,31 \text{ м}^3/\text{кг}$); O_2 – количество кислорода в уходящих газах (в о.е. $0 \div 100\%$); D_6 – насыщенный пар (кПа); $D_{впр}$ – количество воды в пароохладителе (м^3); B_T – расход топлива ($0 \div 12$ тонн/ч); $t_{п.п}$ – перегрев ($0 \div 550^\circ \text{C}$); $P_{п.п}$ – давление ($0 \div 22 \text{ МПа}$); H_6 – уровень воды в барабане ($0 \div 340 \text{ мм}$); $D_{пр}$ – количество воды, выпускаемой из барабана в расширитель непрерывной продувки (м^3); $D_{пв}$ – расход питательной воды (м^3); $D_{пп}$ – расход перегретого пара (ккал/ч); $NaCl$ – содержание котловой воды (мг/кг); S_T – разрежение в верхней части топки ($0 \div (-)100 \text{ кПа}$).

Анализ данной схемы показывает, что выходная переменная $t_{п.п}$ зависит от входных переменных $D_{впр}$ и S_T . На практике переменная $D_{впр}$ регулируется [2] с помощью двухконтурного классического ПИД-регулятора. Переменные H_6 и $NaCl$ зависят от входных переменных $D_{пв}$ и $D_{пр}$ соответственно [3]. Поэтому их регулирование осуществляется вполне приемлемо одноконтурным ПИД-регуляторами.

Как следует из рисунка 1, остальные регулируемые параметры БПК связаны не только со своими, но и со смежными входными переменными: $S_T = f(Q_T, Q_B)$; $O_2 = f(Q_T, Q_B, B_T)$; $D_{пп} = f(D_6, D_{впр}, B_T)$; $P_{п.п} = f(D_6, B_T)$. Кроме того, перечисленные параметры являются нелинейными и регулируются в широком диапазоне. Классические ПИД-регуляторы и типовые нечеткие регуляторы в этом случае не обеспечивают должной точности и быстродействия, что приводит к увеличению энергозатрат. Наконец, использование упомянутых регуляторов в системе управления паровым котлом из-за сложного взаимного влияния контуров регулирования не обеспечивает должную компенсацию связей между регулируемыми параметрами БПК. Все это обуславливает необходимость применения логического управления технологическим процессом в котлоагрегате на основе МЧЛР. Поскольку потенциальных возможностей по быстродействию и точности у МЧЛР больше,

чем у типовых нечетких регуляторов, то целесообразность их использования в качестве регуляторов в данной системе становится очевидной [1].

Структурная схема МЧЛР для регулирования взаимосвязанных параметров БПК ($S_t, O_2, D_{\text{пн}}, P_{\text{пн}}$) с компенсацией взаимного влияния контуров регулирования представлена на рисунке 2. Она имеет следующие особенности: входные и выходные параметры представлены совокупностью четких термов; система продукционных правил МЧЛР состоит из регулирующей и компенсирующей частей; на вход блока продукционных правил подаются не только термы входных ($Z_{\text{тi}}$) и выходных ($Z_{\text{им}}$) переменных, но и дискретные входные (X) и выходные (Y) переменные объекта управления; в условной части (антецеденте) продукционных правил используются не только термы входных, но и выходных переменных, а также дискретные входные и выходные переменные объекта управления.

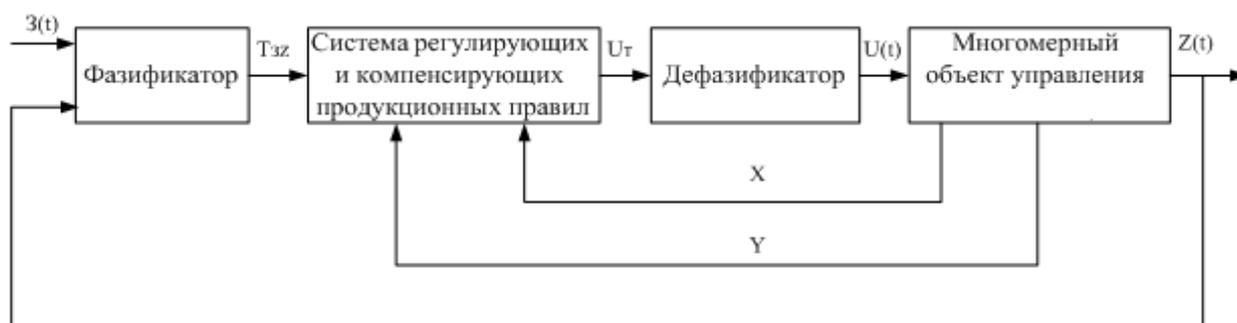


Рисунок – Структурная схема четырехмерного логического регулятора для барабанного парового котла: $Z(t), Z(t), U(t)$ – векторы задающих, регулируемых и регулирующих параметров; T_{zz}, U_T – векторы термов задающих, регулируемых и управляющих параметров соответственно; X и Y – дискретные входные и выходные переменные объекта управления.

Векторы, используемые в предложенном МЧЛР, имеют следующую структуру:

$$\begin{aligned} Z(t) &= (Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_i(t), \dots, Z_n(t)); \\ Z(t) &= (Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_i(t), \dots, Z_n(t)); \\ U(t) &= (U_1(t), U_2(t), \dots, U_i(t), \dots, U_n(t)); \\ T_{zz} &= (Z_{1m}, Z_{2m}, \dots, Z_{im}, \dots, Z_{nm}, Z_{1m}, Z_{2m}, \dots, Z_{im}, \dots, Z_{nm}); \\ U_m &= (U_{1m}, U_{2m}, \dots, U_{im}, \dots, U_{nm}); \\ X &= (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{n1}); \\ Y &= (Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_{n2}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $n=4$ – размерность МЧЛР; m – количество четких термов, используемых для интерпретации переменных регулятора (обычно $m=(5 \div 9)$); n_1 и n_2 – число соответственно входных и выходных дискретных переменных БПК.

Центральная проблема при синтезе многомерных регуляторов – компенсация взаимного влияния контуров [7], в данном случае решается введением для каждого канала регулирования компенсирующей системы продукционных правил. Система продукционных правил предлагаемого 4-мерного логического регулятора (рисунок 3) состоит из 4 программных блоков (ЛР₁ – ЛР₄), каждый из которых включает в себя регулирующие (РСПП₁ ÷ РСПП₄) и компенсирующие (КСПП₁ ÷ КСПП₄) системы продукционных правил.

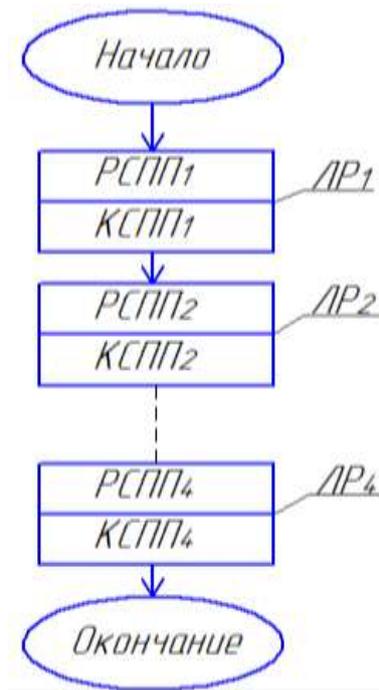


Рис. 3 – Структура системы продукционных правил четырехмерного четкого логического регулятора барабанного парового котла.

Для разработки компенсирующих систем продукционных правил проведено восемь экспериментов при работе 4-мерного четкого логического регулятора с барабанным паровым котлом как с многосвязным объектом управления. В ходе первого эксперимента снималась зависимость регулируемого параметра (S_T) от задающего параметра (Q_T) в автономном режиме работы контуров регулирования МЧЛР (на рисунке 4 кривая U_{a1}). На практике автономность работы МЧЛР достигается отключением всех контуров регулирования, кроме того контура, на котором в данный момент снимается указанная зависимость. Во втором эксперименте снимается та же зависимость при тех же значениях Q_T , но при работе всех остальных трех контуров МЛР в штатном режиме (на рисунке 4 кривая U_{m1}). Число таких пар зависимостей должно равняться размерности МЧЛР, то есть применительно к БПК оно равно четырем.

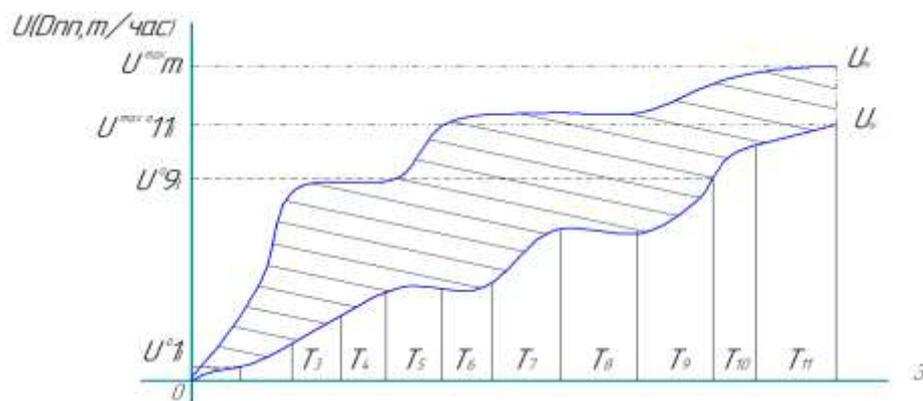


Рис. 4 – Зависимость регулируемого параметра БПК (S_T) от задающего воздействия (Q_T): U_{a1} – в автономном режиме; U_{m1} – в режиме взаимного влияния контуров регулирования.

Из рисунка 4 следует, что заштрихованная площадь характеризует степень влияния остальных трех контуров регулирования МЧЛР на контур ($Q_r \rightarrow S_r$). Представим данную характеристику в более удобной форме (рисунок 5) в виде разности функций U_{m1} и U_{a1} :

$$U_{p1} = U_{m1} - U_{a1}. \quad (2)$$

Функция U_{p1} компенсируется функцией U_{k1} , являющейся её зеркальным отображением относительно оси абсцисс. В свою очередь, функция U_{k1} формируется системой продукционных правил КСПП₁, из совокупности четких термов ($T_1 \div T_{11}$), изображенных на рисунке 5. Компенсация для остальных взаимосвязанных контуров регулирования процесса горения парового котла произведена аналогично.

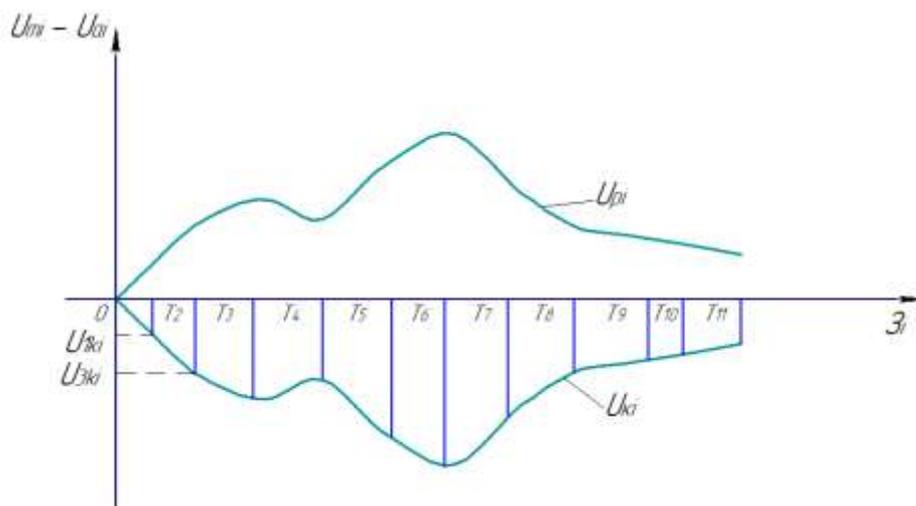


Рис. 5 – Функция компенсации U_{k1} влияния трех контуров на контур ($Q_r \rightarrow S_r$) четырехмерного четкого логического регулятора.

Рисунки 6 и 7 иллюстрируют формирование с помощью системы продукционных правил КСПП₂ компенсирующей функции U_{k2} для контура ($Q_b \rightarrow O_2$) четырехмерного регулятора БПК. Функция U_{k2} интерпретирована совокупностью четких термов ($T_1 \div T_{10}$).

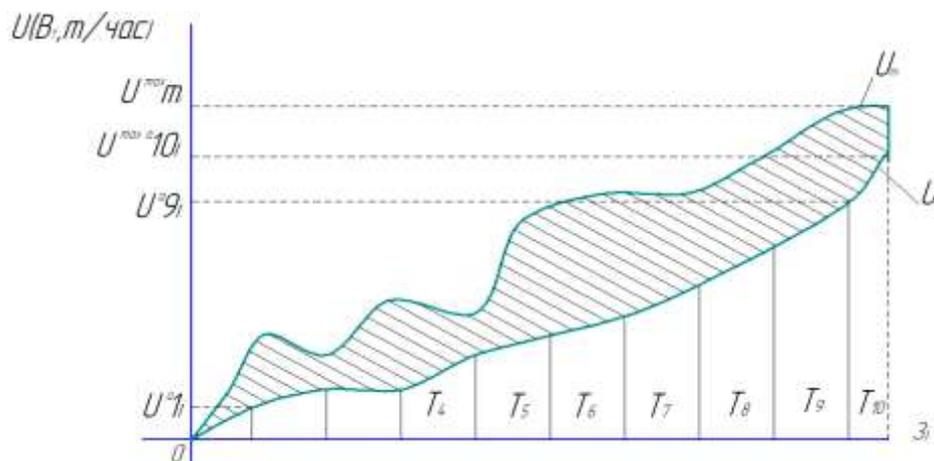


Рис. 6 – Зависимость регулируемого параметра (O_2) от задающего воздействия (Q_b) МЧЛР: U_{a2} – в автономном режиме; U_{m2} – в режиме взаимного влияния контуров регулирования.

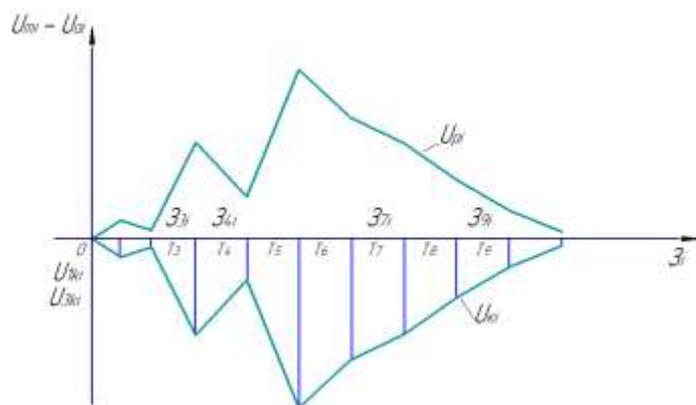


Рис. 7 – Функция компенсации U_{k2} в влияния трех контуров на контур ($Q_b \rightarrow O_2$) четырехмерного четкого логического регулятора.

Рисунки 8 и 9 иллюстрируют формирование с помощью системы продукционных правил КСПП₃ компенсирующей функции U_{k3} для контура ($B_T \rightarrow D_{mn}$) четырехмерного регулятора БПК. Функция U_{k3} интерпретирована совокупностью четких термов ($T_1 \div T_8$).

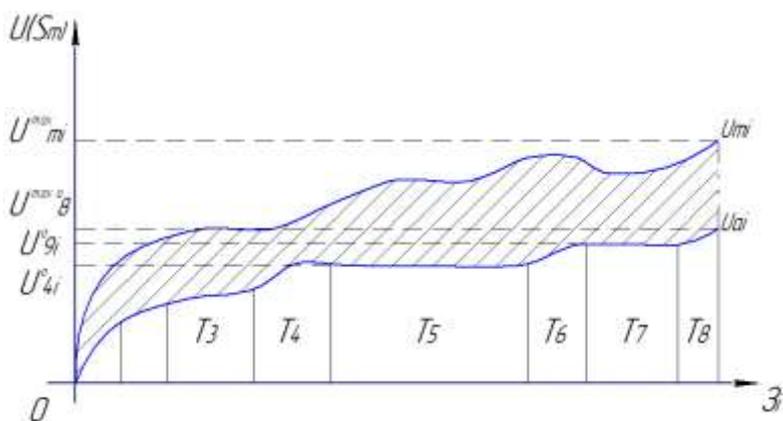


Рис. 8 – Зависимость регулируемого параметра (D_{mn}) от задающего воздействия (B_T) МЧЛР: U_{a3} – в автономном режиме; U_{m3} – в режиме взаимного влияния контуров регулирования.

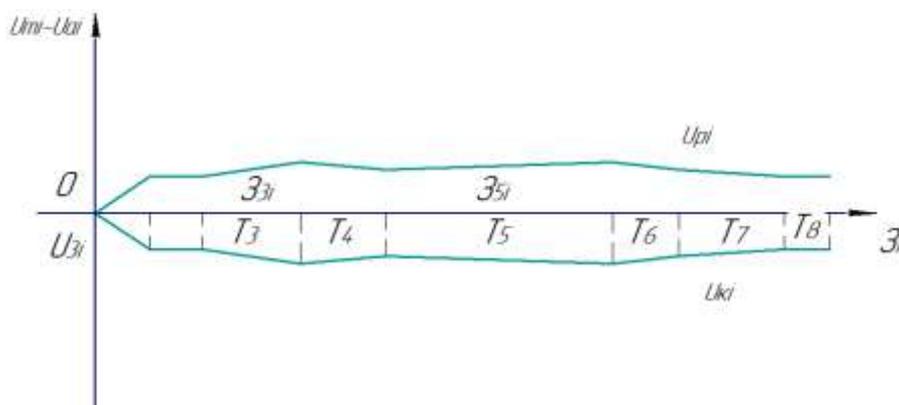


Рис. 9 – Функция компенсации U_{k3} влияния трех контуров на контур ($B_T \rightarrow D_{mn}$) четырехмерного четкого логического регулятора БПК.

Рисунки 10 и 11 иллюстрируют формирование с помощью системы продукционных правил КСПП₄ компенсирующей функции $U_{к4}$ для контура ($D_6 \rightarrow P_{пп}$) четырехмерного регулятора БПК. Функция $U_{к4}$ интерпретирована совокупностью четких термов ($T_1 \div T_7$).

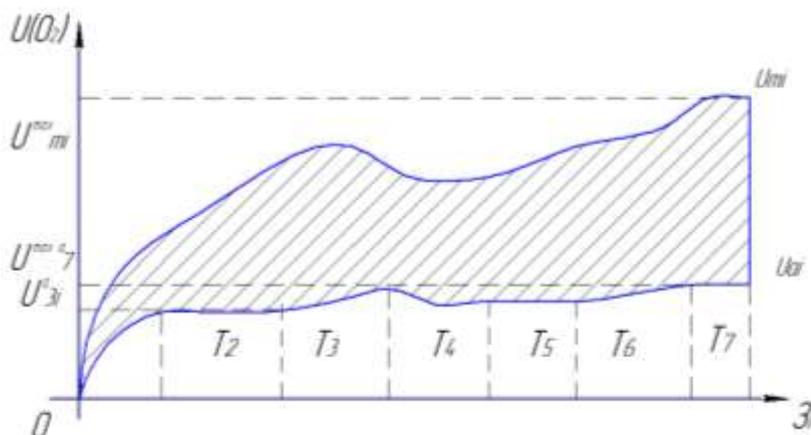


Рис. 10 – Зависимость регулируемого параметра ($P_{пп}$) от задающего воздействия (D_6) МЧЛР: $U_{а4}$ – в автономном режиме; $U_{м4}$ – в режиме взаимного влияния контуров регулирования.

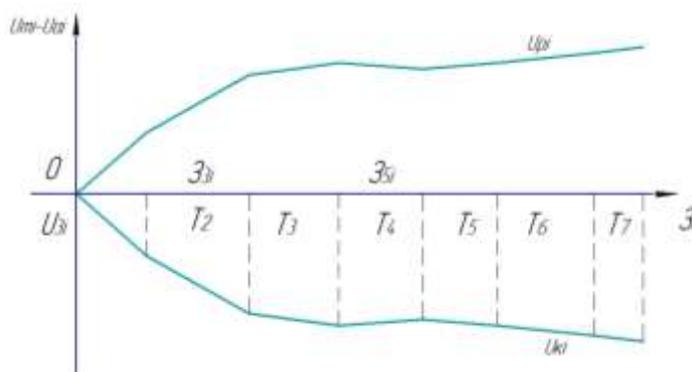


Рис.11 – Функция компенсации $U_{к4}$ влияния трех контуров на контур ($D_6 \rightarrow P_{пп}$) четырехмерного четкого логического регулятора БПК.

Используемые для интерпретации компенсирующих функций четкие термы по своей логической природе представляют собой аргументы двузначной логики. Они вырабатываются фаззификатором МЧЛР из условий:

$$z_i = T_1 \text{ при } 0 \leq z_i < z_{1i}; z_i = T_2 \text{ при } z_{1i} \leq z_i < z_{2i}; z_i = T_s \text{ при } z_{(s-1)i} \leq z_i < z_{si}, \quad (3)$$

где z_i – текущее значение входных или выходных параметров МЧЛР; ($T_1 \div T_s$) – четкие термы, интерпретирующие функцию z_i ; ($z_{1i} \div z_{si}$) – координаты границ четких термов ($T_1 \div T_s$) на универсальной числовой оси.

Из (3) следует, что четкие термы, а также дискретные переменные объекта управления имеют единую логическую природу – они являются аргументами двузначной логики. Поэтому в составе условной части продукционных правил МЧЛР появилась возможность использовать не только термы входных, но и выходных параметров регулятора, а также дискретные (входные и выходные) параметры объекта управления. Кроме того, управляющее воздействие в консеквентах правил имеет две составляющие: регулирующую – при отсутствии влияния других контуров МЛР (сепаратный, автономный режим), и компенсирующую, которая при конкретном значении антецедента правила нейтрализует влияние других контуров регулирования.

Количественную оценку расхода воздуха в соотношении с подачей топлива дает операция выполненная на основе производственных правил центральным процессорным устройством (ЦПУ) контроллеров S7 фирмы Siemens, который позволяет уменьшить продолжительность цикла обработки производственных правил, а следовательно, увеличить быстродействие системы регулирования.

Обработка результатов входных и выходных функций совокупностью четких термов повышают точность и быстродействие логических регуляторов и расширяет их управляющие свойства за счет участия в antecedentes производственных правил термов регулируемых параметров, а также дискретных входных и выходных переменных вербально представленных объектов управления. Использование многомерного четкого логического регулятора для регулирования основных параметров технологического процесса, протекающего в топке парового котла, позволило повысить точное соотношение расхода топлива и подаваемого воздуха, что привело к энергоэффективности установки на 20%.

Список литературы:

1. *Круглов В.В., Дли М.И.* Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002.
2. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy TECH.-СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. 736с.: ил.
3. *Плетнев Г.П.* Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов.-М.: Энергоиздат, 1981.-368.с.ил.
4. *Васильев В.И., Ильясов Б.Г.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника. – 2009. 392 с., ил.
5. *Боженев П.И.* Технология автоклавных материалов. - Л.: Стройиздат, Ленинг. отделение. – 1978. 368 с.
6. *Муравьева Е.А., Байманов И.Ф.* Дискретно-логическая система регулирования величины рН электролита в производстве хлора методом электролиза // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности: Науч.-техн. журнал. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. №1. – С.10-13.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т3: синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. . – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2004. 616 с.; ил.

И. М. Букарев, А. В. Жданов к.т.н.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н. Г. Столетовых
Россия, г. Владимир
tms@vlsu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Проведено исследование физико-механических свойств многослойных наноразмерных покрытий, нанесенных на режущий и штамповый инструмент, изготовленный из сталей Р6М5 и 40Х. Выявлены критические нагрузки при испытании покрытий на адгезионную прочность и износ. Показано, что при нанесении многослойных наноразмерных покрытий происходит снижение износа рабочих поверхностей за счет улучшения физико-механических свойств поверхностного слоя.

Ключевые слова: свойства, твердость, модуль упругости, коэффициент трения, покрытия.

В современном металлообрабатывающем инструменте, а так же штамповой оснастке повсеместно используются износостойкие покрытия для упрочнения рабочих поверхностей и увеличения рабочего ресурса и стойкости [2, 3]. Для прогнозирования стойкости подобных покрытий необходимо знать их физические свойства и критические нагрузки, которые может испытывать инструмент до полного износа покрытия. Целью данной работы являются экспериментальные исследования и сравнение физико-механических свойств, а также адгезионной прочности многослойных наноразмерных покрытий TiN/CrN , AlN/TiN , AlN/CrN , нанесенных на режущий и штамповый инструмент, изготовленный из сталей Р6М5 и 40Х.

Исследуемые покрытия TiN/CrN , AlN/TiN , AlN/CrN , наносили методом *PVD* (физического осаждения из паровой фазы) на установке *UNICOAT 600 SL+* (Производитель *НПО Элан-Практик, г. Дзержинск*) [3]. В качестве испытательных образцов использовали диски диаметром 20 мм, изготовленные из сталей 40Х и Р6М5. Выбранные для исследования стали являются распространенными в машиностроении и довольно широко используются для изготовления режущего и штампового инструмента [1].

Перед нанесением покрытий подложки подвергали химической очистке с помощью ультразвуковой ванны и промывке в органическом растворителе. Для всех типов покрытий проводили ионную очистку поверхности заготовок в камере напыления при напряжении 800 В, в среде аргона. Для улучшения адгезии покрытий к подложке на заготовки наносили адгезионные слои из металлов Ti или Cr , затем слои нитридов TiN или CrN , в зависимости от типа покрытия. Напряжение смещения, подаваемое на подложки, составило 60...70 В, разрядный ток 14...16 А.

Для всех типов покрытий проводились трибологические испытания по схеме *Pin-on-disk*, на трибометре *CSM Instruments*. В качестве контртела использовался стальной шарик диаметром 6 мм. Испытания проводили при следующих параметрах: нагрузка 10 Н, линейная скорость 40 см/сек, длина пути 500 м, отсутствие нагрева (температура 20 °С) и смазки. Толщину получаемых покрытий определяли при помощи калотеста, т.е. истиранием поверхности стальным шариком с применением абразивной суспензии. После этого определяли разность диаметров износа поверхности покрытия и поверхности подложки. Твердость покрытий определяли индентором Викерса. Результаты индентирования обрабатывали по методу Оливера-Фарра, при погружении индентора не более 1/10 к общей толщине покрытия. Максимальная нагрузка для всех образцов выбрана 50 мН. Испытания на

адгезионную прочность проводили с помощью скрэтч-теста, для которого использовался индентор Роквелл (С) с алмазом $R = 0,1$ мм. Скорость перемещения индентора составляла 3 мм/мин, при увеличивающейся нагрузке от 0,3 до 15 Н. В качестве критических нагрузок принимали $Lc1$ – одиночные, либо повторяющиеся сколы, либо отслоения покрытия от подложки; $Lc2$ – полное отслоение покрытия от подложки. Индентирование и скрэтч-тест проводили на микро-комби тестере *CSM Instruments* (Швейцария).

Общая толщина (покрытие плюс адгезионный слой) для всех случаев составила 3...3,5 мкм, толщина адгезионного слоя 0,2...0,3 мкм (рис. 1). Сравнительные результаты индентирования представлены в табл. 1. Материал подложки оказал незначительное влияние на твердость и модуль упругости нанесенных покрытий. Твердость покрытий оказалась выше твердости исходных образцов (без покрытия) в 3,5...6,3 раз.

По результатам индентирования образцов покрытий было установлено, что численные значения твердости покрытий (H и HV), а так же приведенный модуль упругости (E^*) незначительно зависят от материала подложки. Для покрытия AlN/CrN твердость оказалась выше при измерении образцов с подложкой Р6М5 по сравнению с образцами с подложкой 40Х на 9 %. Анализ изменения твердости и приведенного модуля упругости для покрытий TiN/CrN и AlN/TiN на подложках 40Х и Р6М5 показал незначительные изменения, которые укладываются в погрешность измерений 1...3%.

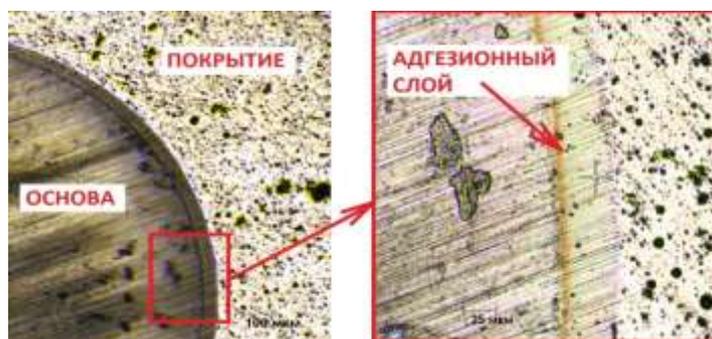


Рис.1. Износ покрытия при калотесте (покрытие TiN/CrN) (увеличение $\times 200$ и $\times 800$).

Таблица 1

Механические свойства * (средние значения)						
Покрытие	Толщина покрытия h , мкм	Твердость H , ГПа	Модуль упругости E , ГПа	Твердость по Викерсу HV	Скрэтч-тест, нагрузка, Н	
					$Lc1$	$Lc2$
40Х	–	6	216	525	–	–
Р6М5	–	8	272	765	–	–
TiN^{**}	–	28	350	2800	–	–
TiN/CrN	3 – 3,5	35/34	411/406	3315/3265	12,34/14,09	12,5/ 14,17
AlN/CrN		34/34	388/371	3220/3245	8,42/ 4,29	10,66/7,82
AlN/TiN		31/28	355/346	3950/2700	6,05 /4,00	8,64/ 7,82

* В числителе указаны значения для стали Р6М5, а в знаменателе для стали 40Х.

** Средние значения, взятые из нескольких открытых источников.

Стойкость покрытий к отслоению выбиралась по точкам *Lc1* и *Lc2*, где происходило полное разрушение, либо наблюдались множественные очаги разрушения. Покрытие *TiN/CrN*, нанесенное на сталь 40X, имело самое высокое значение адгезионной прочности. По сравнению с другими покрытиями, критическая нагрузка в точке *Lc1* составила 14,09 Н, а в точке *Lc2* 14,17 Н. Тоже покрытие, нанесенное на подложку из стали Р6М5, имеет адгезионную прочность 12,34 Н и 12,57 Н соответственно, что на 10 % меньше чем для стали 40X. Измерения критических нагрузок адгезионной прочности для покрытий *AlN/CrN* и *AlN/TiN* на подложках из разных материалов показали обратную тенденцию, а точнее критические нагрузки в точках *Lc1* – *Lc2* выше для быстрорежущей стали Р6М5 и ниже для стали 40X (см. табл. 1, рис. 2). Однако критические нагрузки для покрытия *TiN/CrN* значительно превышают аналогичные показатели для покрытий *AlN/CrN* и *AlN/TiN*, а, следовательно, покрытие *TiN/CrN* является более стойким к отслоению и сколам.

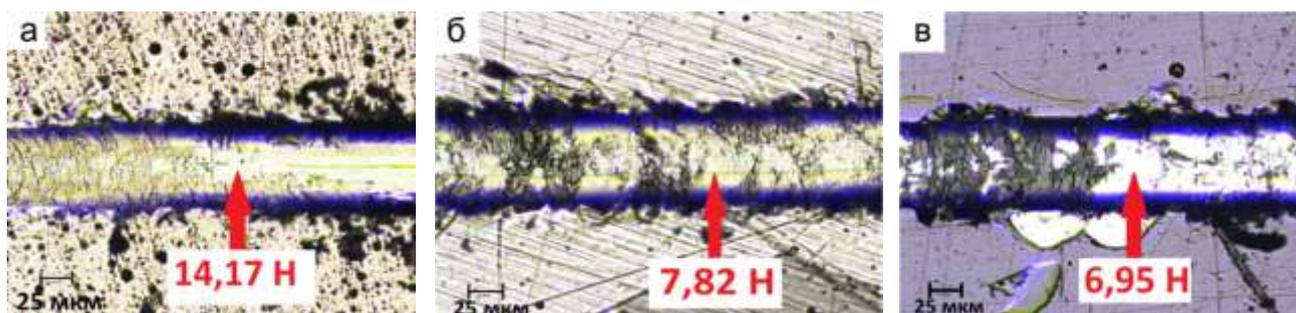


Рис.2. Критические нагрузки *Lc3* подложка сталь 40X (увеличение x 800):
а) *TiN/CrN*; б) *AlN/CrN*; в) *AlN/TiN*.

При испытании покрытий на трибометре учитывались максимальный и средний коэффициенты трения. Максимальные значения коэффициента трения на этапе притирки при испытании образцов с покрытиями составили, для *AlN/TiN* — 0,74, а для *AlN/CrN* и *TiN/CrN* — 0,65. После этапа притирки покрытия наблюдался стационарный режим, для которого значения коэффициента трения составили: для покрытия *AlN/CrN* - 0,59, для покрытия *AlN/TiN* - 0,64, для покрытия *TiN/CrN* - 0,70 и для образца без покрытия - 0,81.

Проведены экспериментальные исследования твердости, модуля упругости, коэффициента трения многослойных наноразмерных покрытий *TiN/CrN*, *AlN/CrN* и *AlN/TiN*. Сравнение полученных характеристик многослойных покрытий с традиционным (*TiN*) показало увеличение твердости на 2...25 %, при этом твердость многослойных наноструктурных покрытий оказалась в 3,5...6,3 раза выше твердости термообработанных сталей 40X и Р6М5. Коэффициент трения покрытий составил 0,59...0,7, что на 10...25 % ниже коэффициента трения материала испытываемых образцов без покрытия. Результаты измерений позволяют рекомендовать покрытия к использованию в упрочнении инструментов и оснастки для холодной листовой штамповки, режущего инструмента, в парах трения, а так же прочих узлов и механизмов, где требуется снижение износа рабочих поверхностей.

Список литературы:

1. Автоматизированное проектирование технологической оснастки для холодной штамповки: Учеб. пособие. / Схиртладзе А.Г., Морозов В.В., Жданов А.В., Залеснов А.И. // Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2011. – 344 с. –ISBN 978-5-94178-255-0
2. Повышение работоспособности режущего инструмента с наноструктурными покрытиями / Симагина Е.В., Агабеков Ю.В. // Нижний Новгород: Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. №2 (81). С. 98 – 103.
3. Повышение ресурса концевго инструмента за счет применения нанокompозитных PVD – покрытий при обработке титан сплавов в авистроении/ Сутягин В.В., Сайкин С.А. // М.: Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. №5. С. 41-44.

А. Ю. Власенко, Н. Н. Окулов

Кемеровский государственный университет, математический факультет
кафедра ЮНЕСКО по НИТ
Россия, г. Кемерово
vlasenko@kemsu.ru, onick7@kemsu.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОРРЕКТНОСТИ И ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КАК КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПОРТАЛА

В статье описана структура и основной функционал информационно-вычислительного портала (ИВП) КемГУ. Особое внимание уделено подсистеме «виртуальная лаборатория» и системе отладки MPI-программ. Изложен механизм интеграции системы отладки в ИВП.

Ключевые слова: информационно-вычислительный портал, контроль корректности, параллельная программа, кластерные системы.

Программный комплекс на базе ИВП

Одной из наиболее острых проблем развития высокопроизводительных вычислений и их внедрения в промышленный сектор является сложность освоения суперкомпьютерных технологий [1]. Целью проводимого авторами исследования является создание интегрированной web-среды для проведения расчетов на высокопроизводительных вычислительных системах, имеющей дружелюбный пользовательский интерфейс и содержащей полный комплекс программных инструментов для эффективной работы на суперкомпьютерных ресурсах.

В качестве данной среды выступает ИВП КемГУ (icr.kemsu.ru), в рамках которого интегрированы информационные системы поддержки параллельных вычислений. Базовым компонентом ИВП является система удаленного доступа и управления распределенными вычислительными ресурсами (СУДиУРВР) [2]. В ее функции входит предоставление возможностей удаленной компиляции и запуска параллельных программ на кластерных системах через web-интерфейс ИВП. Все данные о вычислительных ресурсах, пользователях, исходные и исполняемые файлы программ и прочая информация СУДиУРВР хранится в базе данных. Эту базу данных, а также механизм работы СУДиУРВР использует другой компонент ИВП – система «виртуальная лаборатория». Основное предназначение «виртуальной лаборатории» – проведение лабораторных работ студентов на высокопроизводительных вычислительных ресурсах и выдача аналитической информации о корреляции времени расчета от значений входных параметров задачи в виде таблиц, диаграмм и графиков.

Еще одним важным компонентом ИВП является система отладки параллельных программ. Используя метод автоматического контроля корректности во время исполнения, данная система способна находить логические ошибки, крайне трудные для обнаружения «вручную». При этом для получения списка найденных ошибок пользователю требуется только запустить свою параллельную программу стандартным образом.

Другими подсистемами портала являются система мониторинга состояния вычислительных узлов кластеров, управляемых СУДиУРВР, и биллинга, предоставляющая владельцам суперкомпьютерных ресурсов удобный инструмент для расчета взимаемой с пользователей платы.

Подсистема «Виртуальная лаборатория»

Основными задачами «Виртуальной лаборатории» являются:

1. Проведение серий вычислительных экспериментов для оценки эффективности алгоритма:

- определение зависимости времени выполнения программы от задаваемых пользователем параметров задачи;
- ускорение, эффективность исследуемого параллельного кода;
- оценка и прогноз времени, необходимого для выполнения расчета;
- сравнение времени выполнения программы на вычислительных ресурсах с различным программно-аппаратным обеспечением.

2. Организация виртуального лабораторного практикума студентов на высокопроизводительных вычислительных ресурсах.

В зависимости от целей исследования, можно определить два основных сценария работы пользователя в системе.

Первый сценарий предполагает самостоятельную разработку и исследование параллельной программы. Пользователь пишет исходный код программы, размещает его в системе, компилирует, определяет параметры исследования и производит запуск сформированной серии расчетов. Далее с помощью аналитического блока системы производится обработка полученных в результате расчетов данных и формируются сведения для последующей оптимизации параллельной программы.

Второй сценарий предусматривает использование системы в образовательном процессе. В данном случае для пользователей определены две роли: преподаватель и студент. Преподаватель имеет возможность создать лабораторную работу и назначить группе студентов ее выполнение. В лабораторной работе он размещает краткое описание и задачи эксперимента, исполняемый код параллельной программы, задает параметры исследования и диапазон их изменения. Задача студента состоит в том, чтобы произвести серию запусков параллельной программы с использованием различных значений параметров на различных вычислительных ресурсах и сделать выводы по результатам выполнения.

Для определения степени влияния параметров на время выполнения используются методы корреляционного анализа. В случае нескольких независимых параметров исследования решается уравнение множественной регрессии, которое имеет вид:

$$Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n$$

Здесь в качестве значений переменных X_1, \dots, X_n используются значения варьируемых параметров исследования, в качестве Y – время выполнения вычислительного задания с соответствующими значениями параметров. Коэффициенты детерминации, полученные в результате применения данного метода, отражают степень зависимости времени выполнения программы от каждого из исследуемых параметров запуска.

Для оценки предполагаемого времени выполнения программы с заданными значениями параметров применяется интерполяция и экстраполяция на основе данных, полученных при предыдущих запусках.

Данные анализа пользователь может применить для повышения эффективности своей параллельной программы. Также, благодаря возможности создания нескольких проектов (т.е. различных версий исполняемого кода параллельной программы) для одной лабораторной работы и запуска на различных вычислительных ресурсах, пользователь может сравнить между собой данные времени выполнения и выбрать оптимальную среду для запуска своей программы.

Система отладки параллельных приложений

Система автоматического контроля корректности, разработанная сначала как автономная, призвана находить логические ошибки, связанные с неверным использованием MPI-стандарта в параллельных программах. На сегодня известно несколько разработок,

проводящих автоматический контроль корректности (например, развивается и поддерживается система MARMOT [3]), но они обладают плохой масштабируемостью по узлам кластера и используют неточные алгоритмы поиска ошибок.

Компонентами, составляющими систему, являются: препроцессор исходного кода пользовательской программы, статическая профилировочная библиотека, сервер-анализатор и скрипт запуска.

Схема работы системы в автономном режиме следующая: пользователь заполняет конфигурационный файл, в котором указывает полные пути к профилировочной библиотеке и к утилите-препроцессору, путь к файлу исходного кода пользовательской программы, количество MPI-процессов и другие дополнительные параметры запуска параллельного приложения. После заполнения данного файла требуется запустить скрипт, выполняющий нижеприведенные действия:

- при помощи препроцессора преобразует исходный код приложения;
- компилирует полученный файл, связывая с профилировочной библиотекой;
- запускает на указанном в конфигурационном файле узле кластера процесс сервера-анализатора;
- на других узлах кластера (их количество также указано пользователем) запускается откомпилированная исследуемая программа с необходимыми параметрами.

Во время работы программы процессы на вычислительных узлах вызывают MPI-функции, некоторые из которых «перехватываются» профилировочной библиотекой. «Метаданные» о посылке (ранг вызвавшего процесса; характер коммуникации – получение, отправка, коллективная; тип данных и пр.) передаются на сервер-анализатор, который формирует из переданной информации элементы динамического списка. При добавлении нового элемента сервер проводит анализ списка на возникновение глобальных семантических ошибок (к их числу относятся взаимные блокировки, гонки данных, несоответствия, непарные коммуникации и пр.) В самих же MPI-процессах работают дополнительные нити, которые обрабатывают эти же MPI-функции на возникновение локальных ошибок (некорректная работа с памятью или внутренними объектами MPI-реализации). После завершения параллельной программы формируется один файл найденных ошибок.

Разработана схема интеграции системы отладки в ИВП. Теперь пользователь на web-форме компиляции в портале ставит символ «галочка» в специальный «чек бокс» для проверки системой отладки программы по ходу работы. Для СУДиУРВР это будет означать, что в таблице базы данных с информацией о задании на компиляцию бинарное поле «use_debugger» примет значение «true». Впоследствии, когда задание поступит на кластер, агенту вычислительного ресурса [2] будет передан соответствующий параметр, означающий необходимость провести препроцессинг программы пользователя и слинковать ее с профилировочной библиотекой. На web-форме составления задания на запуск требуется указать ip-адрес или имя узла кластера, на котором будет запущен сервер-анализатор (возможно, поставить макрос «ану» - тогда система запустит данный процесс на «узле по умолчанию»). Кроме того, необходимо задать имя выходного файла логических ошибок для системы отладки. Далее, когда задание на запуск попадает на вычислительный ресурс, агент сначала запускает по ssh процесс сервера-анализатора, затем – MPI-программу пользователя. После того, как работа системы завершается и формируется выходной файл ошибок, агент кластера передает его на сервер ИВП, где компонент «менеджер вычислительных ресурсов» [2] производит парсинг данного файла и помещает информацию об ошибках в еще одну таблицу базы данных. Здесь присутствуют такие поля, как номер задания на запуск (для однозначной идентификации проекта программы); тип найденной логической ошибки; номер строки исходного кода, где была вызвана MPI-функция; имя данной функции; ранг процесса и прочая информация о коммуникации. Кроме того, в базу данных ИВП в служебную

таблицу об установленном на кластере ПО для параллельных вычислений добавлена также информация о пути к профилировочной библиотеке и узле-анализаторе по умолчанию.

Заключение

Таким образом, на сегодняшний день информационно-вычислительный портал КемГУ представляет собой программный комплекс систем поддержки высокопроизводительных вычислений, служащих с одной стороны для проведения полного цикла работ по использованию кластеров, а с другой стороны – для обеспечения деятельности вычислительных центров удобной средой управления учетными записями пользователей, программным обеспечением, вычислительными ресурсами.

Интеграция самостоятельной системы автоматического контроля корректности MPI-программ дала ИВП мощный инструмент отладки, не требующий интерактивной работы с программой, а самой системе отладки – удобный web-интерфейс. При этом гибкая структура базы данных СУДиУРВР легко позволила внедрить всю управляющую информацию, необходимую для работы системы отладки и продуцируемые ей данные.

Список литературы:

1. Афанасьев К.Е. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование [Текст] / К.Е. Афанасьев, С.В. Стуколов. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2003. – 233 с.

2. Григорьева, И.В. Система удаленного доступа и управления распределенными вычислительными ресурсами [Текст] / И.В. Григорьева, А.В. Демидов // Вычислительные технологии. - 2008. - том 13, специальный выпуск 5 - С. 28-32.

3. Krammer, B. Runtime Checking of MPI Applications with MARMOT [Электронный ресурс] / B. Krammer, M. Mueller, M. Resch // <http://www.hlrs.de/organization/amt/projects/marmot/pubs/parco2005-marmot.pdf>.-2005.

В. И. Воловач к.т.н.

Поволжский государственный университет сервиса, факультет техники и технологий сервиса
кафедра «Информационный и электронный сервис»
Россия, г. Тольятти
ssunrise@mail.ru

ДОСТОВЕРНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДАТЧИКАМИ ТУРНИКЕТНОГО ТИПА БЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ С НЕКОГЕРЕНТНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ

Рассмотрены режимы работы радиотехнических датчиков турникетного типа. Произведена оценка достоверности обнаружения объектов в случаях линейного и квадратичного детектирования сигнала. Получены выражения для определения вероятностей ложного срабатывания и пропуска объекта при использовании датчиков без преобразования частоты.

Ключевые слова: достоверность обнаружения, некогерентный приемник, среднее значение и дисперсия выходного напряжения, вероятности правильного обнаружения, ложного срабатывания, пропуска объекта.

В различных системах охраны актуальной является задача создания радиотехнических устройств обнаружения (РУО), осуществляющих надежную фиксацию объектов в контролируемой области. Учитывая небольшую дальность (как правило, в диапазоне от нескольких десятков до сотен метров) и локальность действия, указанные радиотехнические датчики (РД) могут быть отнесены по своему классу к радиотехническим устройствам ближнего действия (БД) [5]. Охранные РД могут быть классифицированы на два типа: турникетного (датчики охраны периметра) и площадного, или объемного, типа.

В работах [1, 2] нами определялась достоверность обнаружения объектов РУО, применяемых в системах охранной сигнализации. В настоящей статье будут рассмотрены основные характеристики обнаружения датчиков охраны периметра, работающие без преобразования частоты зондирующего сигнала. Несмотря на очевидную простоту таких устройств, в их построении имеется ряд специфических особенностей, характерных только для охранных систем. В частности, решение в датчиках турникетного типа может приниматься как по наличию, так и по отсутствию сигнала в приемнике при нарушении периметра.

Определим характеристики обнаружения РУО без преобразования частоты с некогерентными приемником прямого канала (ППК) и приемником отраженного сигнала (ПОС) (рис. 1) в условиях гауссовского приближения. Отметим, что структура приемника ПОС и приемника ППК с последетекторной обработкой идентична для РУО без преобразования частоты и РУО с преобразованием частоты [3].

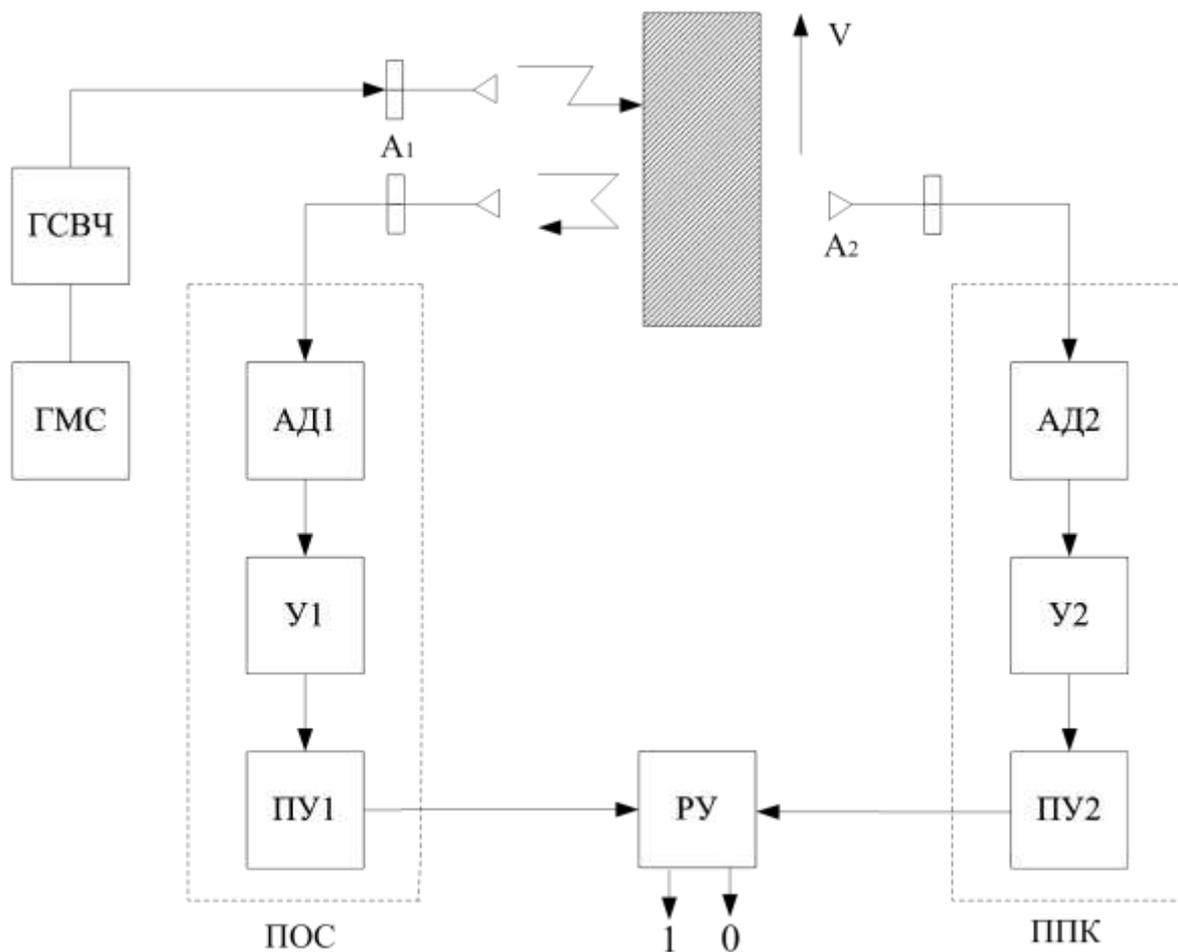


Рис. 1. Структурная схема РУО с некогерентными ППК и ПОС.

Первый канал в РД (рис. 1) представляет собой канал прямого сигнала (КПС); он образован передающим устройством и ППК. Передающее устройство состоит из генератора модулирующего сигнала (ГМС) и генератора СВЧ-сигнала (ГСВЧ). Второй канал – канал отраженного сигнала (КОС) – образуется тем же передающим устройством и ПОС. ПОС и ППК представляют собой некогерентные приемники прямого усиления, каждый из которых образован амплитудным детектором (АД1, АД2), усилителем (У1, У2) и пороговым устройством (ПУ1, ПУ2). На рис. 1 также приведены приемо-передающая (А1) и приемная (А2) антенны. Решение об обнаружении объекта принимается в решающем устройстве (РУ) (например, состояние «1»), которое использует в алгоритме своей работы функции и отношения правдоподобия.

Рассмотрим достоверность обнаружения объекта для различных режимов работы амплитудного детектора приемника. Из теории цепей и сигналов известно, что режим работы – линейный или квадратичный – определяется уровнем сигнала.

Линейный режим работы детектора. Выходным сигналом детектора в линейном режиме (далее линейного детектора), амплитудная характеристика которого описывается характеристикой

$$g[x(t)] = \begin{cases} x(t), & x > 0; \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

является огибающая сигнала, действующая на его входе.

Положим, что на входе АД действует гармонический сигнал

$$S(t) = U(t) \cos(\omega t - \varphi),$$

и помеха

$$n(t) \in N(0, \sigma_n^2),$$

так что огибающая результирующего сигнала подчинена обобщенному распределению Райса.

При названных предположениях, воспользовавшись [5], можно определить среднее значение и дисперсию выходного напряжения АД:

$$\bar{U}_{\text{вых.АД}} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{q^2}{2}\right\} \left\{ I_0\left(\frac{q^2}{2}\right) + q^2 \left[I_0\left(\frac{q^2}{2}\right) + I_1\left(\frac{q^2}{2}\right) \right] \right\}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{вых.АД}}^2 = 2\sigma_n^2(1 + q^2) - (\bar{U}_{\text{вых.АД}})^2, \quad (2)$$

где $q^2 = U^2 / 2\sigma_n^2$ – общее отношение сигнал/шум по мощности на входе детектора.

В случае отсутствия полезного сигнала ($q^2 = 0$) справедливы соотношения

$$\bar{U}_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_n, \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{вых.АД}}^2 \Big|_{q^2=0} = [2 - 0,5\pi] \sigma_n^2. \quad (4)$$

Квадратичный режим работы детектора. В этом случае

$$g[x(t)] = \begin{cases} x^2(t), & x > 0; \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Аналогичные (1) – (4) характеристики для детектора в квадратичном режиме (далее квадратичного детектора) при наличии сигнала на входе приемника имеют вид

$$\bar{U}_{\text{вых.АД}} = U^2 + 2\sigma_n^2, \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{вых.АД}}^2 = 4\sigma_n^2(\sigma_n^2 + U^2). \quad (6)$$

Соответственно, при отсутствии сигнала

$$\bar{U}_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0} = 2\sigma_n^2, \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{вых.АД}}^2 \Big|_{q^2=0} = 4\sigma_n^2. \quad (8)$$

Алгоритмы работы РУ одноканальных или двухканальных РУО могут быть различны, но строятся они, как правило, на основании проверки правильности двух гипотез [4]:

гипотезы $H1$, предполагающей наличие в сигнале на входе РУО полезного сигнала $S_{\text{отр}}$ и помехи $n(t)$;

гипотезы $H0$, предполагающей отсутствие сигнала и наличие на входе РУО одной только помехи $n(t)$.

В идеализированном случае в каждой из сформулированных гипотез предполагают отсутствие помехи $n(t) = 0$.

В гауссовском приближении для двух альтернативных гипотез можно записать:

$$H1: Y(t) = S_{\text{отр}}(t) + n(t) \in N\left(\bar{U}_{\text{вых.АД}}(\tau); \sigma_{\text{вых.АД}}^2(\tau)\right),$$

$$H0: Y(t) = n(t) \in N\left(\bar{U}_{\text{вых.АД}} \Big|_{q_{\text{АД}}^2=0}; \sigma_{\text{вых.АД}}^2 \Big|_{q_{\text{АД}}^2=0}\right).$$

Для расчета вероятности правильного обнаружения D , пропуска $1 - D$ и ложного срабатывания F радиотехнического устройства обнаружения необходимо знать ПРВ

$W(U_{\text{вых.АД}})$. Для получения инженерных оценок характеристик обнаружения будем считать $W(U_{\text{вых.АД}}) = N(\bar{U}_{\text{вых.АД}}; \sigma_{\text{вых.АД}}^2)$.

Тогда, воспользовавшись (1), (2), можно записать

$$F = \int_{U_{\text{п}}}^{\infty} W(U_{\text{вых.АД}}) \Big|_{q^2=0} dU_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0} = 1 - \Phi \left\{ \frac{U_{\text{п}} - \bar{U}_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0}}{\sigma_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0}} \right\}, \quad (9)$$

$$1 - D = \int_{-\infty}^{U_{\text{п}}} W(U_{\text{вых.АД}}) dU_{\text{вых.АД}} = \Phi \left[(U_{\text{п}} - \bar{U}_{\text{вых.АД}}) / \sigma_{\text{вых.АД}} \right], \quad (10)$$

где Φ – интеграл вероятности.

Значения $\bar{U}_{\text{вых.АД}}$, $\bar{U}_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0}$, $\sigma_{\text{вых.АД}}^2$ и $\sigma_{\text{вых.АД}} \Big|_{q^2=0}$ определяются из соотношений (1) – (8).

Поскольку структуры ПОС и ППК идентичны, соотношения (9) и (10) могут быть использованы для оценки характеристик обнаружения объекта в зоне контроля и в том, и другом случае. Отличие заключается в следующем. Поскольку решение о наличии объекта выносится в ППК по отношению сигнал/шум в канале приема, формулы (9) и (10) можно поменять местами, т. е.

$$F_{\text{ппк}} = (1 - D)_{\text{пос}}; \quad (1 - D)_{\text{ппк}} = F_{\text{пос}},$$

где $F_{\text{ппк}}$ и $F_{\text{пос}}$ – ложное срабатывание приемников ППК и ПОС соответственно; $(1 - D)_{\text{пос}}$ и $(1 - D)_{\text{ппк}}$ – вероятность пропуска для ПОС и ППК.

В результате для ППК имеем

$$F_{\text{ппк}} = \Phi \left\{ (U_{\text{п.ппк}} - \bar{U}_{\text{вых.АДппк}}) \sigma_{\text{вых.АДппк}}^{-1} \right\} \Big|_{q=0}, \quad (11)$$

$$(1 - D)_{\text{ппк}} = 1 - \Phi \left[(U_{\text{п}} - \bar{U}_{\text{вых.АДппк}}) \sigma_{\text{вых.АДппк}}^{-1} \right]. \quad (12)$$

Вводя в рассмотрение вероятность P_0 появления объекта в зоне контроля, можно получить соотношения для оценки вероятности ложной фиксации F_c и пропуска $(1 - D)_c$ двухканального РД в целом:

$$F_{\Sigma} = (1 - P_0) F_{\text{ппк}} F_{\text{пос}}; \quad (1 - D)_{\Sigma} = P_0 (1 - D)_{\text{ппк}} (1 - D)_{\text{пос}}.$$

В случае, когда решение о наличии объекта в зоне контроля принимается в соответствии с критерием Неймана – Пирсона, величина порогового уровня $U_{\text{п}}$ в (9), (10) определяется заданной вероятностью ложных срабатываний:

$$U_{\text{п}} = \bar{U}_{\text{вых.АД}} \Big|_{q_{\text{лД}}^2=0} + \sigma_{\text{вых.АД}} \Big|_{q_{\text{лД}}^2=0} \cdot \Phi^{-1}(1 - F),$$

где $\Phi^{-1}(x)$ – функция, обратная интегралу вероятностей.

Статистический анализ характеристик обнаружения различных вариантов построения РУО, проведенный в соответствии с полученными выше соотношениями, показывает, что одноканальный вариант обеспечивает $F_1 = 10^{-6}$, $(1 - D_1) = 10^{-10}$, а двухканальный $F_2 = 10^{-10}$, $(1 - D_2) = 10^{-10}$.

В результате проведенного анализа осуществлена оценка достоверности обнаружения объектов радиотехническими устройствами охраны периметров турникетного типа, работающими без преобразования частоты. Показано, что для расчета достоверности обнаружения РУО данного типа необходимо знать плотность вероятности напряжения на выходе амплитудного детектора, режим работы которого определяется уровнем принимаемого сигнала. Получены выражения для определения вероятности обнаружения,

пропуска и ложного срабатывания РД турникетного типа без преобразования частоты в условиях гауссовского приближения.

Список литературы:

1. *Воловач В.И.* Определение вероятности обнаружения протяженных объектов радиотехническими устройствами охранной сигнализации // XII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». Сборник докладов конференции. Том III. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ», 2006. С. 2000–2009.

2. *Воловач В.И.* Оценка достоверности обнаружения объекта по статистическому распределению дальности действия радиотехнических устройств охранной сигнализации // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Наука – промышленности и сервису». Выпуск 2. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2006. С. 134–144.

3. *Воловач В.И.* Накапливающаяся вероятность обнаружения объектов в зоне контроля радиотехнических охранных устройств // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. Т. 7. № 1. С. 17–20.

4. *Тихонов В.И.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.

5. *Шелухин О.И.* Радиосистемы ближнего действия. – М: Радио и связь, 1989. – 238 с.

В. И. Воловач к.т.н., Е. В. Гурина

Поволжский государственный университет сервиса, факультет техники и технологий сервиса,
кафедра «Информационный и электронный сервис»
Россия, г. Тольятти
ssunrise@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОХРАННЫХ СИСТЕМ

Дано определение оптимальной обработки сигналов для радиотехнических устройств обнаружения. Показаны характерные для отдельных типов устройств обнаружения упрощения классического определения. Показано, что для решения задачи обнаружения могут быть использованы корреляционный способ и способ согласованной фильтрации. Приведена оптимальная структура корреляционного приемника устройства обнаружения.

Ключевые слова: радиотехнические устройства обнаружения, оптимальная обработка сигнала, корреляционный способ, задача обнаружения, оптимальный приемник.

Современные радиотехнические устройства обнаружения (РУО), используемые в пространственных охранных системах, характеризуются высокими качественными показателями. В значительной степени успешность применения таких устройств определяется их помехоустойчивостью. Следует отметить, что помехоустойчивость радиотехнических датчиков (РД) ближнего действия (БД) определяется классическим образом и в значительной степени зависит от структурной реализации таких устройств, используемым видом модуляции и применяемым методом обнаружения [1].

В условиях реального применения РУО воздействие помех приходится учитывать практически всегда. В значительном количестве случаев предполагают, что помеха является белым гауссовским шумом. Такой шум обусловлен шумами приемного устройства РУО и шумами окружающего пространства. В приемной антенне РД происходит аддитивное суммирование полезного сигнала и названных шумов. В большинстве случаев будет справедливым полагать, что шумы приемного устройства превосходят шумы окружающего пространства, и, следовательно, в анализе устройств обнаружения учитывается только внутриприемный шум. Вместе с тем отметим, что названное утверждение не является абсолютным для всех случаев. Например, в случаях применения РУО на открытых площадках внешний шум может превосходить внутриприемный.

Сформулируем понятие оптимальной обработки сигналов для радиотехнических систем БД. Известно [5], что оптимальная обработка сигналов, в т. ч. и радиолокационных, представляет собой использование такого метода обработки сигнала, который дает наилучшие результаты по сравнению с другими при одинаковых условиях.

При обработке радиолокационных сигналов в радиосистемах БД, также как и в классических радиолокационных системах, важна конечная задача, решаемая РУО: обнаружение и различение (или разрешение) сигнала, по которому принимается решение о вторжении в пределы контролируемой зоны. При этом в отличие от классической радиолокации, обнаружение сигналов может происходить как по отражению от объекта (режим активной локации), так и по прерыванию сигнала (турникетный режим, режим полуактивной локации) [2]. Наибольшее распространение в последнее время получили двухканальные РД, совмещающие оба принципа обнаружения сигналов. В отличие от

классической локации измерение параметров принятого сигнала не всегда обязательно для РУО; в целом ряде случаев достаточным является только обнаружение и различение сигнала. Вместе с тем, в ряде РУО нашли применение принципы обнаружения, использующие зависимость обнаружения объекта от параметров принятого сигнала; прежде всего, это доплеровские РД.

Таким образом, классическая формулировка оптимальной обработки сигналов может быть использована и для радиосистем БД, причем с указанными для ряда типичных случаев упрощениями.

Наиболее распространенными способами оптимальной обработки сигналов являются корреляционный способ и способ согласованной линейной фильтрации. Корреляционный способ основан на сравнении сигнала, приходящего от обнаруживаемого объекта, и некоторого предшествующего, образцового сигнала, соответствующего определенному состоянию пространственной охранной системы (отсутствию или наличию обнаруживаемого объекта). Способ согласованной линейной фильтрации основан на использовании спектральной функции принимаемого сигнала.

Структуры обнаружения, соответствующие реальным РУО и использующие корреляционный способ обработки, приводились нами ранее [3]. Отметим, что эти схемы содержат в своем составе блок памяти, блоки выработки функции правдоподобия, блоки суммирования и блок принятия решения. В зависимости от решаемых задач структура обнаружения может быть дополнена блоком порогового ограничения. В результате сравнения структурных схем можно говорить об их определенном отличии, зависящем, прежде всего, от используемого в РУО режима обнаружения: активной локации или турникетного.

Задача обнаружения и различения (или разрешения) сигналов в РУО также рассматривалась нами ранее [4]. В наиболее общем виде для всех радиотехнических систем задача обнаружения и разрешения сигналов формулируется следующим образом [5]: пусть на входе приемника в принятом воздействии $u_{\text{пр}}(t)$ может быть только один из двух сигналов $u_{c1}(t, \lambda_1)$ или $u_{c2}(t, \lambda_2)$

$$u_{\text{пр}}(t) = \theta u_{c1}(t, \lambda_1) + (1 - \theta) u_{c2}(t, \lambda_2) + u_{\text{п}}(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

где θ – некоторая случайная величина, которая может принимать только два значения: $\theta = 1$ (присутствует сигнал $u_{c1}(t, \lambda_1)$ с вероятностью p_1) и $\theta = 0$ (присутствует сигнал $u_{c2}(t, \lambda_2)$ с вероятностью $p_2 = 1 - p_1$); $u_{\text{п}}(t)$ – помеха; T – время наблюдения.

Зондирующий сигнал $u_c(t, \lambda)$ представляет собой детерминированную и известную функцию аргументов t и λ . Параметры $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k\}$ представляют собой параметры, определяющие функционирование системы охраны, которые принято называть существенными параметрами. Для реализации функции охраны объектов рассматривают как параметры самого радиосигнала (амплитуда, частота и т. п.), так и параметры, представляющие объект-нарушитель (размеры объекта, площадь отражающей поверхности, наличие «блестящих» точек и т. п.) и характер его движения в пределах зоны обнаружения (дальность до объекта, скорость, направление).

Остановимся на режиме активной локации, для которого $u_{c2}(t, \lambda_2) \equiv 0$ и решение задачи (1) сводится к обнаружению и различению сигнала $u_{c1}(t, \lambda_1)$ на фоне шума $u_{\text{п}}(t)$, т. е.

$$u_{\text{пр}}(t) = \theta u_c(t, \lambda) + u_{\text{п}}(t), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (2)$$

Здесь θ – некоторая случайная величина, которая может принимать, как и в (1), только два значения: при $\theta = 1$ в выходном сигнале присутствуют сигнал $u_c(t, \lambda)$ с вероятностью, соответствующей правильному принятию решения о присутствии объекта-нарушителя, и

помеха $u_{\Pi}(t)$; при $\theta = 0$ в выходном сигнале присутствует только помеха $u_{\Pi}(t)$ с вероятностью, соответствующей правильному принятию решения об отсутствии объекта-нарушителя в зоне обнаружения.

Решение задачи обнаружения отраженного от объекта-нарушителя сигнала на фоне помехи (2), а также оценка параметров этого сигнала, позволяют получить структурную схему приемника РУО и рассмотреть его соответствие типовым схемам оптимальных приемников. Кроме того, может быть определен показатель оптимальности обнаружения устройства, зависящий, в свою очередь, от вероятностей правильного и ошибочного принятия решений.

В [4] показан вывод выражения, определяющего структуру оптимального приемника РУО:

$$\frac{2}{W_{\Pi}} \int_0^T u_c(t) u_{\Pi P}(t) dt > \ln \gamma + \frac{W_c}{W_{\Pi}} = u_{\text{ПОР}} , \quad (3)$$

где $u_{\text{ПОР}}$ – величина порогового уровня, определяемая при выбранном критерии обнаружения заданной вероятностью ложного обнаружения $P(u_{c1}/u_{c0})$.

Анализ (3) позволяет сделать вывод о полном соответствии структуры приемника РУО при известной задержке сигнала структуре классического оптимального приемника детерминированных сигналов [4] (рис. 1). В приемнике РУО устанавливается степень взаимной корреляции между входным воздействием $u_{\Pi P}(t)$ и зондирующим сигналом $u_c(t)$. После этого мера корреляции сравнивается с порогом ограничения $u_{\text{ПОР}}$, который определяется в соответствии с выражением (3). Приемник РУО должен содержать коррелятор K , в котором осуществляется перемножение и интегрирование сигналов $u_c(t)$ и $u_{\Pi P}(t)$, и пороговое устройство $ПО$ с заданным порогом ограничения $u_{\text{ПОР}}$. Если напряжение на его выходе превосходит нуль, то принимается решение о наличии сигнала и, соответственно, о присутствии объекта-нарушителя. При напряжении, равном нулю, принимается решение об отсутствии сигнала. Таким образом, можно говорить о приемнике сигналов РУО как об оптимальном приемнике.

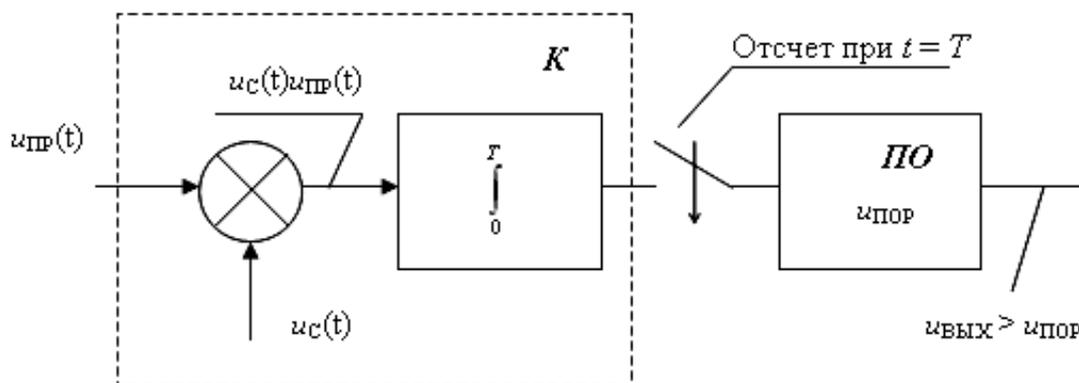


Рис. 1. Структура оптимального приемника РУО.

При использовании другого способа оптимальной обработки сигнала – согласованной фильтрации – ставится задача реализации оптимальных фильтров, позволяющих надежно производить обнаружение сигнала, максимально правильно выделять сигнал на фоне помех либо подавлять помехи с допустимым искажением сигнала. Применение согласованной

фильтрации должно максимизировать отношение мощности полезного сигнала к помехе на выходе устройства.

Для решения задачи (1) в РУО может быть использован фильтр обнаружения сигналов. Особенностью такого фильтра является обнаружение сигналов известной формы при уровне шумов, превышающем значение самого сигнала. Форма сигнала может быть получена, например, на основе теоретических расчетов. Принцип работы фильтра позволяет производить обнаружение сигнала без его предварительной фиксации. При наличии сигнала же во входном воздействии форму сигнала сохранять не требуется. В случае согласованной фильтрации частотная характеристика фильтра обнаружения сигналов с точностью до постоянного множителя определяется исключительно спектром сигнала.

Немаловажно отметить, что выходные сигналы РУО при реализации обоих названных способах оптимального обнаружения будут одинаковы. В ряде случаев при работе коррелятора в РУО существенным может оказаться изменение начальной фазы и задержки сигнала, что следует учитывать в схемотехнической реализации коррелятора.

В статье показано, что для РУО определение понятия оптимальной обработки сигналов совпадает с классической формулировкой; при этом для значительного количества типов таких устройств возможно не осуществлять измерение параметров принятого сигнала. Решение о вторжении в пределы контролируемого пространства решается на уровне обнаружения и различения (или разрешения) принятого сигнала.

Для решения задачи обнаружения объекта РД могут быть использованы корреляционный способ и способ согласованной линейной фильтрации. Структура оптимального корреляционного приемника РУО строится в соответствии с классическим оптимальным коррелятором.

Список литературы:

1. *Воловач В.И.* Помехоустойчивость типовых вариантов построения радиотехнических устройств охранной сигнализации // Школа университетской науки: парадигма развития, 2010, т. 2, № 1(1). С. 265–270.

2. *Воловач В.И.* Накапливающаяся вероятность обнаружения объектов в зоне контроля радиотехнических охранных устройств // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. Т. 7. № 1. С. 17–20.

3. *Воловач В.И.* К вопросу определения структуры приемника радиотехнических устройств обнаружения пространственных охранных систем // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей IX Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2011. С. 24–29.

4. *Воловач В.И.* Реализация оптимальной структуры обнаружения радиотехнических устройств охранной сигнализации // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2009. Т. 5. № 2. С. 43–49.

5. *Тихонов В.И.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.

А. В. Ганичев

Тверская государственная сельскохозяйственная академия
экономический факультет, кафедра “Математики и вычислительной техники”
Россия, г. Тверь
alexej.ganichev@yandex.ru

ОПТИМАЛЬНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ РАССТОЯНИЯ

В статье рассмотрены вопросы принятия решений о классах объектов при недостаточной или плохо структурированной информации о законах распределения признаков распознавания. В этих условиях целесообразно использовать вместо байесовских статистических решений более простые и наглядные методы, основанные на функциях расстояния. Получены и доказаны математические соотношения, когда при такой замене не нарушается оптимальность принимаемых решений.

Ключевые слова: признак, класс, решение, функции расстояния, меры близости, эталонная точка, качество распознавания.

Основными группами статистических методов распознавания объектов являются оптимальные байесовские методы, основанные на функциях правдоподобия, и методы, основанные на функциях расстояния (мерах близости). Методы второй группы преимущественно используют для решения задач кластерного анализа. Поэтому вопрос их оптимальности является крайне важным для корректного использования многочисленных пакетов прикладных программ кластерного анализа.

Характеристики информации об особенностях классов объектов во многих технических и социально-экономических системах ограничивают возможность применения классических оптимальных байесовских методов. Часто объема выборки бывает достаточно только для выявления характерных точек измеренных значений признаков. Эти точки в ряде случаев являются предельными значениями для областей возможных значений признаков классов объектов. В ряде случаев объема выборки бывает достаточно для оценки математических ожиданий и других моментов распределений, а также для формирования некоторых соображений о виде законов распределения (например, о наличии определенных свойств симметрии). Наиболее приемлемыми методами распознавания в данной ситуации являются методы, основанные на функциях расстояния, которые имеют наглядный физический смысл. В основе таких методов лежит критерий минимального расстояния (или функции расстояния) в признаковом пространстве между точками, соответствующими текущим значениям и эталонным значениям признаков распознавания классов объектов. В качестве эталонных значений могут быть выбраны соответствующие границы областей возможных значений признаков классов или характерные точечные значения признаков (например, математические ожидания, моды и т.д.). В классических работах по распознаванию образов [2], [3] классификатор по минимуму расстояния используется для построения линейных дискриминантных функций и для иллюстрации результатов классификации нормально распределенных случайных величин. При построении автоматических систем распознавания объектов используются различные определения расстояния (функции расстояния): по Евклиду, Минковскому, Камберра, Фишеру, Чебышеву и другие [3]. Однако в учебной и научной литературе не рассмотрены должным образом вопросы соотношения модифицированных критериев расстояния с байесовскими методами проверки

статистических гипотез, а также не определены условия, при которых эти методы дают одинаковые результаты при классификации объектов. Целью данной работы является решение этой важной задачи.

Сформулируем условия, при выполнении которых методы, основанные на функциях расстояния, эквивалентны оптимальным байесовским методам и обеспечивают такое же качество распознавания. Покажем, что нормированное расстояние позволяет реализовывать статистические критерии проверки статистических гипотез, а именно: максимального правдоподобия, Байеса, максимума апостериорной вероятности, Неймана-Пирсона. Нормировка расстояния производится в этом случае (в зависимости от выбранного критерия) в соответствии с характеристиками распределений (например, мерами рассеяния), априорными вероятностями появления объектов различных классов, стоимостями принятых решений, ошибками первого рода проверки статистических гипотез.

Сначала сформулируем теорему и докажем условия при которых минимум расстояния совпадает с критерием максимального правдоподобия для любых одномерных функций распределения вероятностей.

Теорема. Пусть $f_1(x), \dots, f_m(x)$ - законы распределения вероятностей признака x для m заданных классов. Обозначим через x_j^* эталонную точку j -ого класса. Это может быть точка на границе области j -ого класса, ближайшая к измеренному значению признака, математическое ожидание, мода или другая характерная эталонная точка.

Пусть имеют место условия:

1) для любой пары функций $f_j(x), f_k(x)$ выполняется равенство

$$f_k(x) = f_j \left(\frac{x\sigma_j}{\sigma_k} - \frac{x_j^*}{\sigma_k} + x_j^* \right),$$

где σ_j, σ_k - средние квадратические отклонения или другие характеристики разброса возможных значений признаков распознавания, то есть значения функций можно сделать одинаковыми в результате линейного преобразования аргумента;

2) при выполнении неравенств $\|x_1 - x_j^*\| < \|x_2 - x_j^*\|$ выполняются неравенства $f_j(x_1) > f_j(x_2)$, где $\|x_i - x_j^*\|$ обозначает норму, то есть кратчайшее расстояние точки x_i до точки x_j^* по заданному критерию (выполнение данного условия означает монотонное

убывание функций с возрастанием расстояния от x_j^* или что $\frac{df(x)}{dx} < 0$).

Тогда из выполнении условия $\frac{\|x - x_j^*\|}{\sigma_j} < \frac{\|x - x_k^*\|}{\sigma_k}$ следует, что $f_j(x) > f_k(x)$, то есть выполняется критерий максимального правдоподобия.

Доказательство.

Пусть имеем точку x такую, что $\frac{\|x - x_j^*\|}{\sigma_j} < \frac{\|x - x_k^*\|}{\sigma_k}$. Сравним $f_j(x)$ и $f_k(x)$.

Определим два расстояния до точки x_j^* , а именно:

$$\frac{\|x - x_j^*\|}{\sigma_j} \text{ и } \frac{\left\| \frac{x\sigma_j}{\sigma_k} - \frac{x_j^*\sigma_j}{\sigma_k} + x_j^* - x_j^* \right\|}{\sigma_j} = \frac{\|x - x_j^*\|}{\sigma_k}.$$

Так как по исходному допущению $\frac{\|x - x_j^*\|}{\sigma_j} < \frac{\|x - x_k^*\|}{\sigma_k}$, то точка $\left(\frac{x\sigma_j}{\sigma_k} - \frac{x_j^*\sigma_j}{\sigma_k} + x_j^* \right)$

удалена от точки x_j^* на большее расстояние, чем точка x . Это означает, что по условию (2) соответствующая ей вероятность должна быть меньше. Таким образом, имеем:

$$f_j(x) > f_j\left(\frac{x\sigma_j}{\sigma_k} - \frac{x_j^*\sigma_j}{\sigma_k} + x_j^*\right) = f_k(x).$$

Следовательно, $f_j(x) > f_k(x)$.

Полученный результат можно обобщить на случай многомерных случайных величин. В этом случае $f_1(\bar{x}), \dots, f_m(\bar{x})$ - многомерные функции распределения вероятностей m классов, $\bar{x} = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ - вектор признаков. Классы образуют в пространстве признаков замкнутые многомерные области Ω_j , $j = \overline{1, m}$, причем \bar{x}_j^* - эталонная точка j -ого класса (например, ближайшая к измеренному значению вектора признаков точка на границе области j -ого класса).

Условия оптимальности решений, понимаемых на основе функций расстояния, в этом случае имеют вид:

$$\forall f_j(\bar{x}), f_k(\bar{x}) \quad f_k(\bar{x}) = f_j\left(\frac{\bar{x}|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} - \frac{\bar{x}_j^*|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} + \bar{x}_j^*\right);$$

$$\|\bar{x}_1 - \bar{x}_j^*\| < \|\bar{x}_2 - \bar{x}_j^*\| \rightarrow f_j(\bar{x}_1) > f_j(\bar{x}_2).$$

$$\text{Тогда при } \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_j^*\|}{|\bar{\Sigma}_j|} < \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_k^*\|}{|\bar{\Sigma}_k|} \rightarrow f_j(\bar{x}) > f_k(\bar{x}).$$

Символами $|\bar{\Sigma}_j|$, $|\bar{\Sigma}_k|$ обозначены определители ковариационных матриц распределений вероятностей.

Доказательство.

Пусть $\frac{\|\bar{x} - \bar{x}_j^*\|}{|\bar{\Sigma}_j|} < \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_k^*\|}{|\bar{\Sigma}_k|}$. По условию (1), имеем:

$$f_k(\bar{x}) = f_j\left(\frac{\bar{x}|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} - \frac{\bar{x}_j^*|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} + \bar{x}_j^*\right).$$

Сравним два расстояния до точки \bar{x}_j^* :

$$\frac{\|\bar{x} - x_j^*\|}{|\bar{\Sigma}_j|} \text{ и } \frac{\left\| \frac{\bar{x}|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} - \frac{x_j^*|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} + x_j^* - x_j^* \right\|}{|\bar{\Sigma}_j|} = \frac{\|x - x_k^*\|}{|\bar{\Sigma}_k|}.$$

По исходному допущению $\frac{\|\bar{x} - x_j^*\|}{|\bar{\Sigma}_j|} < \frac{\|\bar{x} - x_k^*\|}{|\bar{\Sigma}_k|}$, тогда точка $\left(\frac{\bar{x}|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} - \frac{x_j^*|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} + x_j^* \right)$

удалена от \bar{X}_j^* на большее расстояние, чем точка \bar{X} . Следовательно, по условию (2), соответствующая ей вероятность больше, то есть:

$$f_j(\bar{x}) > \left(\frac{\bar{x}|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} - \frac{\bar{x}_j^*|\bar{\Sigma}_j|}{|\bar{\Sigma}_k|} + \bar{x}_j^* \right) = f_k(\bar{x}). \text{ Таким образом, } f_j(\bar{x}) > f_k(\bar{x}).$$

Полученные соотношения можно обобщить для критериев максимума апостериорной вероятности и Байеса. Для критерия максимума апостериорной вероятности имеем:

$$P_j \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_j^*\|}{|\bar{\Sigma}_j|} < P_k \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_k^*\|}{|\bar{\Sigma}_k|} \rightarrow P_j f_j(\bar{x}) > P_k f_k(\bar{x}),$$

где P_j , P_k - априорные вероятности появления объектов j-ого и k-го классов. Байесовское правило проверки статистических гипотез учитывает стоимости принимаемых решений C_{jk} и имеет вид:

$$c_{jk} P_j \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_j^*\|}{|\bar{\Sigma}_j|} < c_{kj} P_k \frac{\|\bar{x} - \bar{x}_k^*\|}{|\bar{\Sigma}_k|} \rightarrow c_{jk} P_j f_j(\bar{x}) > c_{kj} P_k f_k(\bar{x}).$$

Аналогично можно привести соотношения для критерия Неймана – Пирсона.

Если класс объектов представляется не одной, а совокупностью эталонных (характерных) точек (которые, например, образуют кластер), то в этом случае следует искать минимальное расстояние по каждому из классов объектов до ближайшего эталона [1]. Разработанные в данной статье условия оптимальности функций расстояния могут использоваться и для принятия решений в этой задаче.

Таким образом, при выполнении сформулированных и доказанных в статье условиях можно использовать вместо байесовских статистических решений более простые и наглядные методы принятия решений на основе функций расстояния, что позволяет существенно упростить систему распознавания.

Список литературы:

1. Лепский А.Е., Броневиц А.Г. Математические методы распознавания образов: Курс лекций. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009.
2. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. - М: Мир, 1978.
3. Фор А. Восприятие и распознавание образов. М: - Машиностроение, 1989.

Г. М. Гончаров д.т.н., И. С. Гуданов к.т.н., А. А. Ломов д.т.н.

Ярославский государственный технический университет
машиностроительный факультет
кафедра технологических машин и оборудования
Россия, г. Ярославль
goudanov@ya.ru

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАХОДНОЙ ЗОНЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛОВ НА КАЧЕСТВО АГРЕГИРОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Рассмотрен численный подход к моделированию процесса соэкструзии кабельной изоляции. Описана последовательность конечно-элементного расчёта гидродинамических и энергосиловых характеристик на примере дуплексной экструзии изоляции кабелей.

Ключевые слова: соэкструзия, мультиплексные формующие головки, стратифицированное течение, агрегированные профили, заходной участок, резиновые смеси, численные методы.

Массовые ассортименты бикомпонентных трубчатых профилей получают одновременным формованием (соэкструзией) двух резиновых смесей с различными физико-химическими характеристиками. Такие модифицированные изделия обладают рядом потребительских ценных свойств недостижимых в одном материале. Процесс соэкструзии осуществляют на мультиплексных червячных агрегатах, оснащённых формующими головками с дублирующим каналом кольцевого поперечного сечения [1, С. 305]. В зависимости от вида производимого изделия продольный профиль таких каналов существенно различен. В промышленном производстве резинотехнических изделий чаще всего применяются головки с отношением длины калибрующей цилиндрической части отверстия к её диаметру, равным единице [2]. Однако в большинстве формующих головок длина профилирующего цилиндрического канала значительна ($2-10 d$) при этом ему предшествует заходная часть в виде конуса или раструба. Размеры и форма заходной части определяются способом подвода формовочных сред из экструдеров к области дублирования. В современных червячных агрегатах экструдеры к головке присоединяются жёстко или гибко и пространственно расположены друг относительно друга по V-образной, Т-образной или кольцевой схеме.

На рис. 1 представлены наиболее типичные продольные профили отверстий фильер для агрегирования резиновых смесей в изделия круглого и кольцевого сечения. Конический заходной участок области дублирования изготавливается с углами конусности в пределах от 45 до 120° . Также из опыта проектирования следует, чем больше диаметр самого профиля, тем больше отношение D/d . Однако это справедливо лишь для хорошо совмещаемых материалов, адгезивных между собой, близких по своей реологической природе. В противном случае прибегают к использованию более сложных конструкций фильер, стенки отверстий которых ограничены параболами различных форм.

Фирмы, выпускающие оборудование для формования длинномерных агрегированных профилей, зачастую предлагают головки, чья заходная зона образована последовательностью конических и цилиндрических каналов. Однако такое конструктивное исполнение ведёт к увеличению сопротивления головки и провоцирует нестабильность формы граничной поверхности. В последние годы зарубежными производителями был предпринят ряд специальных исследований гидродинамики стратифицированного (совместного) течения

расплавов полимеров в зоне перехода к цилиндрическому калибрующему каналу, нацеленных на поиск оптимальной геометрии продольного профиля выходной щели [3, 4].

В качестве объекта изучения нами был выбран кольцевой канал, в котором $\delta_1/\delta_2=1,0$, а $d_{отв}/d=0,5$. Численно были просчитаны дублирующие каналы с различными углами конусности заходной части, а также каналы с нелинейной геометрией границ (рис. 1, б, в, г). При этом методом случайного поиска была выбрана топология канала, которой соответствует наиболее благоприятная гидродинамическая картина. Установлено, что в оптимальном профиле (рис. 1, ж) заходная зона выполнена в виде гиперboloида с углом α . Следует считать, что такой профиль обеспечивает не только равенство результирующих скоростей и минимальное сопротивление продвижению материалов, но и исключает возникновение вихревых потоков, которые могут дестабилизировать процесс совместного формования.

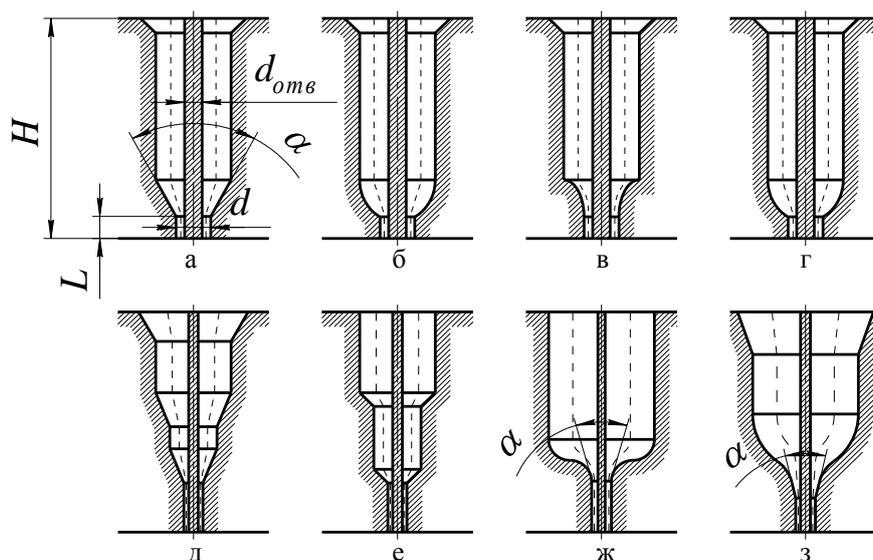


Рис. 1. Продольный профиль фильер с кольцевыми отверстиями:

а – коническо-цилиндрический канал; б – параболическо-цилиндрический канал; в – гиперболическо-цилиндрический канал;

г – ступенчатый канал с коническим начальным участком;

д – ступенчатый канал с коническим начальным участком;

е – ступенчатый канал с цилиндрическим начальным участком;

ж, з – канал со сложным профилем входной зоны; - - - граница раздела материалов.

Отметим, что существенное влияние на устойчивость формообразования граничной поверхности материалов оказывает величина отношения длины калибрующего канала к его диаметру. Как видно из рис. 2 увеличение этого соотношения повышает стабильность процесса высокоскоростной соэкструзии, однако достигаемая при этом равновесная граница раздела материалов далека от исходной, задаваемой профилирующим инструментом. По мере продвижения материалов в профилирующей части канала нелинейность скоростного профиля становится более ярко выраженной, также усиливается несоответствие формы граничной поверхности заданной изначально. При $L/d > 5,0$ на выходе из канала наблюдается неустойчивая граница раздела материалов, характеризуемая различного рода поднутрениями. Сложность такого формообразования объясняется устремлением граничной поверхности в область наименьшего сдвига из рис. 3, б.

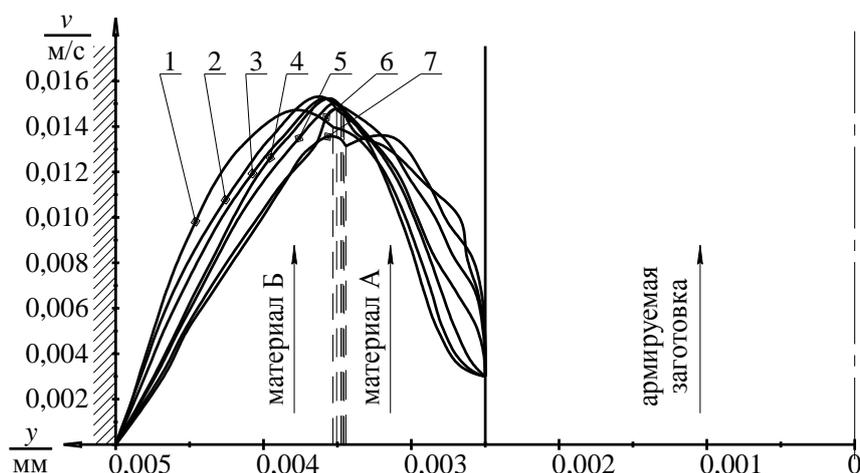


Рис. 2 Распределение результирующей скорости и положения граничной поверхности на выходе из канала при различных значениях длины области стратификации.

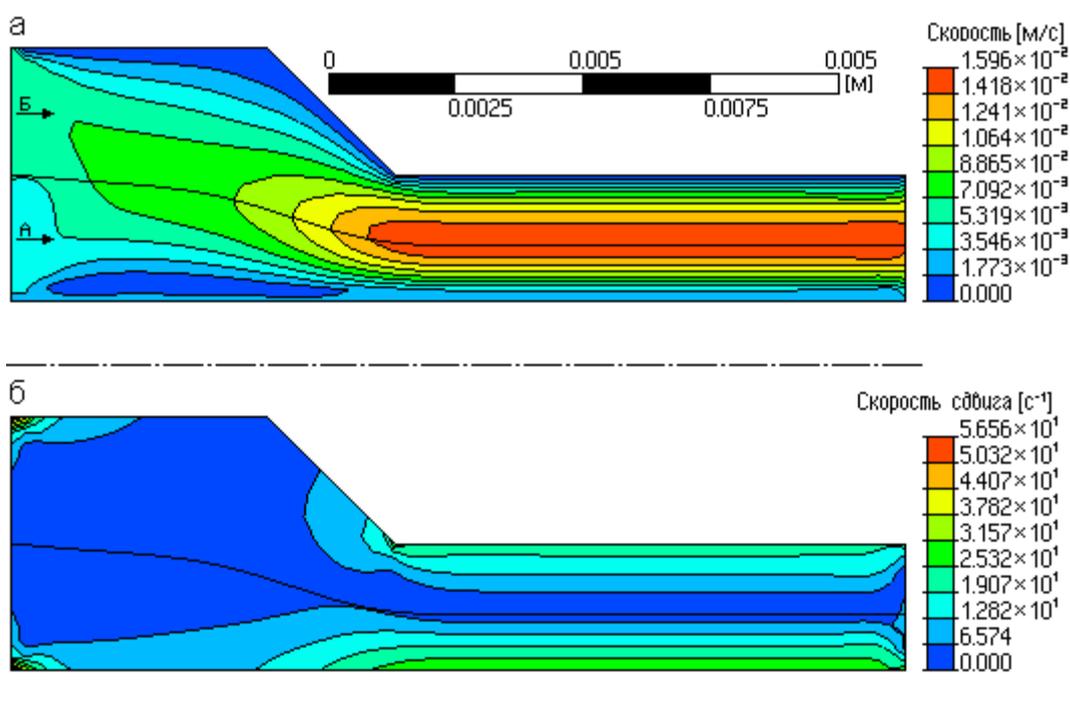


Рис. 3 Распределение гидродинамических характеристик в продольном профиле цилиндрического канала с конической заходной областью:
а – изоконтур результирующей скорости;
б – изоконтур скорости сдвига.

Для проведения машинного эксперимента была разработана и численно реализована математическая модель стратифицированного течения anomalно-вязких жидкостей в изотермической постановке [5]. Совместное решение уравнения неразрывности, сохранения движения и степенного реологического уравнения производилось методом «спинов» по полуявной схеме. В качестве исходных данных было задано: материал А – $v_x=0,004$ м/с, $\mu_1=40000$ Па·сⁿ, $n=0,3$, $\rho=1130$ кг/м³; материал Б – $v_x=0,006$ м/с, $\mu_1=60000$ Па·сⁿ, $n=0,3$, $\rho=1160$ кг/м³.

Основные результаты численного расчёта приведены в табл. 1. При этом варьировались соотношение диаметров заходного и профилирующего участков, длина области дублирования и угол схождения потоков.

Табл. 1 Распределения результирующей скорости и положения граничной поверхности на выходе из канала.

№	D/d	L/d	α	$v_{\max}, 10^{-2} \text{ м/с}$	$2h/(d-d_{\text{отв}})$
1	1,5	0,5	45°	1,546	0,412
2	1,5	1,0	45°	1,596	0,402
3	1,5	1,5	45°	1,587	0,396
4	1,5	2,0	45°	1,589	0,390
5	1,5	3,0	45°	1,583	0,386
6	1,5	5,0	45°	1,552	0,381
7	1,5	10,0	45°	1,422	0,376
8	2,0	1,0	45°	1,483	0,408
9	3,0	1,0	45°	1,465	0,372
10	4,0	1,0	45°	1,438	0,346
11	2,0	1,0	45°	1,581	0,382
12	2,0	1,0	60°	1,553	0,424
13	2,0	1,0	75°	1,508	0,445
14	2,0	1,0	105°	1,442	0,298
15	2,0	1,0	120°	1,377	0,288

Известно, что в значительной степени на перепад давления в дублирующем канале головки имеет угол заходного конуса α . Здесь также для каналов коническо-цилиндрической формы должен существовать профиль с оптимальным значением угла конусности, который обеспечивает минимальные потери давления при течении в нём резиновых смесей. Из рис. 4 видно, для двух совместно текущих неньютоновских сред введение конического участка с углом α близким к 180° приводит к росту перепада давления по сравнению со ступенчатым коническим каналом (рис. 1, д, е). Однако при уменьшении угла конусности перепад давления снижается, при значениях $\alpha \approx 70^\circ$ он имеет минимальную величину, а при дальнейшем уменьшении угла конусности снова растёт. Максимальный перепад давлений достигается в канале с углом конусности $\alpha = 120\text{--}150^\circ$. Разница давлений в точках локального максимума и минимума составляет 7,3%, что существенным образом будет влиять на производительность процесса соэкструзии.

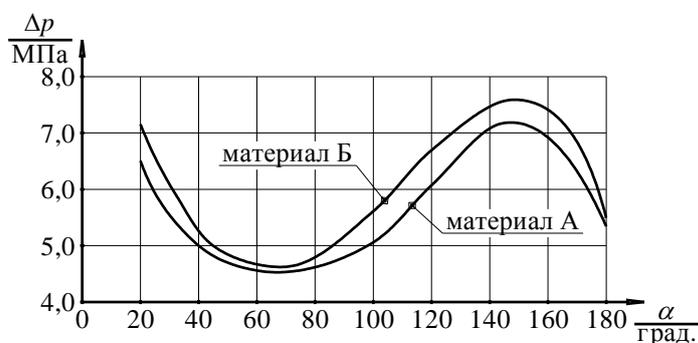


Рис. 4 Влияние угла заходного конуса дублирующего канала головки на перепад давления материалов.

Из анализа табличных данных следует, что варьирование геометрических характеристик не оказывает существенного влияния на значение максимума результирующей скорости, последние отличаются не более чем на 13,7%. Однако сами профили продольной составляющей скорости сильно разнятся. Более выраженная тенденция прослеживается при формировании положения поверхности раздела материалов. Различие в значениях толщины слоя материала с меньшей вязкостью в крайних положениях 35,3%. При этом в каналах с L/d от 3 до 10 наблюдается усиливающаяся по направлению к выходу волнообразность граничной поверхности. Отметим, что при оптимизации формы продольного сечения дублирующего канала наиболее эффективным управляющим параметром является угол конусности заходной части.

Получение агрегированных изделий с высокой продольной равномерностью скоростного профиля связано с использованием фильер, имеющих отверстия, снабжённые выемками (рис. 1, ж, з). При использовании заходной зоны канала в форме гиперболоида вращения (рис. 1, ж) сохраняется проблема отклонения толщин слоёв от номинальных значений. Наиболее приближенным к оптимальным следует считать профилирующие каналы, чьи стенки ограничены параболами двойной кривизны. Серией численных экспериментов показано, что в зависимости от сочетания набора реологических и режимных характеристик глубина выемок составляет от 1/10 до 1,3, а ширина от 1/15 до 1/3 диаметра отверстия. Далее выемка заканчивается закруглением, диаметр которого равен ширине выемки. Такие выемки вызывают турбулизацию течения резиновых смесей, которая обуславливает формирование круглого профиля с незначительным отклонением толщин слоёв (3-4%).

Полученные численные результаты и выявленные закономерности могут служить техническими рекомендациями при создании новых формующих головок и оптимизации уже существующих конструкций.

Список литературы:

1. Янков В.И., Глот И.О., Труфанова Н.М., Шакиров Н.В. Течение полимеров в отверстиях фильер. Теория, расчёт, практика. – Москва – Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2010. – 368с.
2. Проспекты фирмы «Епка», ФРГ (1980).
3. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
4. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.
5. Гуданов И.С., Лаврентьев Ю.Б., Гончаров Г.М. Численное моделирование процесса созкструзии резиновых смесей // Сборник материалов и статей XX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – Ярославль, 2007. – Т. 1. – С. 171-174.

К. Л. Горшкова, А. Р. Садыков, А. Р. Якупов

Альметьевский государственный нефтяной институт, факультет энергетики и автоматики
кафедра автоматизации информационных технологий
Россия, г. Альметьевск
chri_leon@mail.ru

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ СКВАЖИННЫХ ТЕРМОМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

В работе представлены результаты изучения возможности применения нечёткого регулирования при создании установки для поверки геофизических глубинных приборов.

Ключевые слова: нечеткая логика, нечеткий регулятор, скважинная термометрия, редактор правил, технические системы.

В нефтяной промышленности используется огромное количество геофизических глубинных приборов, имеющих в своём составе датчики температуры. В частности, скважинные термометры и термокондуктивные дебитометры (приборы для измерения дебита по времени остывания нагреваемого элемента, которые омывается скважинной жидкостью). Соответственно такие приборы нуждаются в установке для их точной поверки. К таким установкам предъявляются достаточно высокие требования. Например, отклонение регулируемой температуры теплоносителя от заданного значения в установившемся режиме должно быть не более 0,5 градус Цельсия. Целью управления является обеспечение требуемой температуры теплоносителя в баке, где находятся поверяемые геофизические приборы, при изменениях температуры и объёма исходных смешиваемых носителей.

В данной работе использована среда математического моделирования MATLAB [2], где была исследована система регулирования температуры теплоносителя на выходе смесителя (термостата) с регуляторами, работающими на базе нечёткой логики. Термостат, аппарат для получения и поддержания постоянной температуры жидкости в рабочем сосуде. В процессе работы регулируется поток горячей воды Q_1 и поток холодной воды Q_2 при поддержании заданного расхода теплоносителя на выходе термостата. При смешении без отвода тепла двух жидкостей с разными температурами в установившемся режиме значения температуры T и потока Q жидкости связаны следующими уравнениями:

$$Q_1(T-T_1) + Q_2(T-T_2) = 0, Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow T = \frac{(Q_1 \cdot T_1 + Q_2 \cdot T_2)}{Q} \quad (1)$$

При заданных температуре T_3 и расхода Q_3 теплоносителя на выходе смесителя заданные расходы теплой воды и холодной воды вычисляются из уравнения (1) по формулам: $Q_1 = \frac{Q_3(T_3 - T_2)}{T_1 - T_2}$; $Q_2 = \frac{Q_3(T_1 - T_3)}{T_1 - T_2}$.

Динамические свойства датчиков температуры теплой и холодной воды описываются и исполнительных механизмов, в качестве которых используются двигатели, описываются передаточными функциями:

$$G_1(s) = G_2(s) = \frac{a}{s+a}, G(s) = \frac{a}{s(s+c)} \quad (2)$$

Глубина коррекции температуры жидкости задается коэффициентом K . [1]

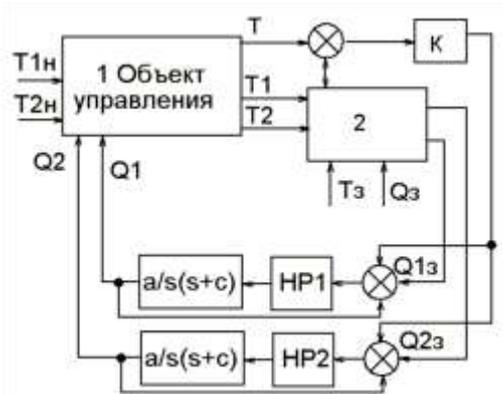


Рис. 1- Структурная схема системы управления температурой и расходом теплоносителя.

Структурная схема системы управления температурой и расходом теплоносителя представлена на рис.1, где объект управления составлен на основе формулы (1), а блок сравнения номер 2 на входе регуляторов составлен на основе формулы (2).

Математическая модель системы

Функция смесителя (термостата) состоит в поддержании постоянной температуры воды в баке для поверки термометров при минимальном перерегулировании и возможности минимизации потребления электроэнергии. Температура должна регулироваться таким образом, чтобы минимизировать время охлаждения и нагрева воды.

Поток Q должен поддерживаться постоянным и может быть изменен только во время изменения температуры. Следовательно, основной переменной будет поток горячей воды Q и скорость изменения температуры жидкости.

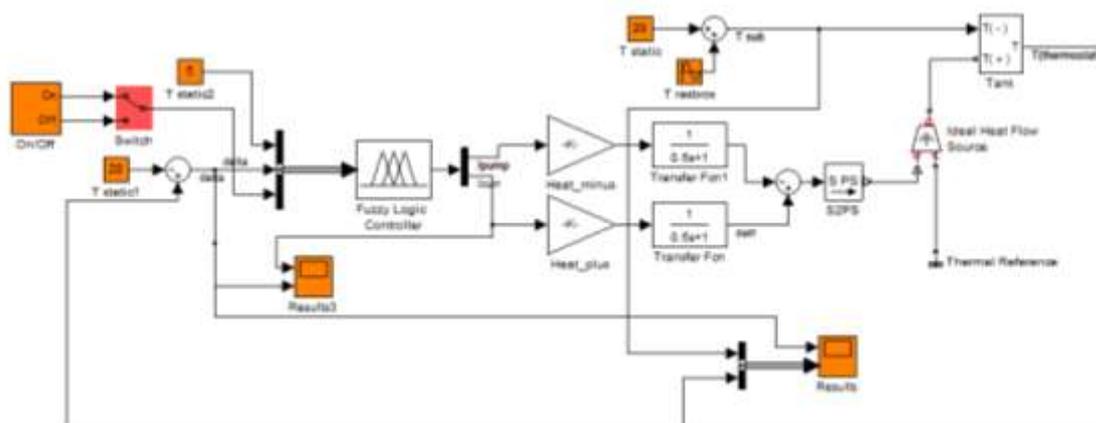


Рис. 2- Имитационная модель термостата.

Имитационная модель (рис. 2) состоит из следующих основных частей:

- блок переключения режима работы «качество/экономия» (Switch);
- контроллер нечёткой логики (Fuzzy Logic Controller);
- модель нагревательного элемента (Heat_plus);
- модель насоса (Heat_minus);
- модель смесителя (Tank);
- модель создаваемой геофизическим прибором разности температур (T_{sub}).

На вход нечёткого регулятора подаются три параметра:

- 1) скорость изменения потока жидкости (speed);
- 2) разность между заданной температурой и текущей (rate);

3) параметр выбора оптимального режима регулирования качество/экономия (On/Off).

Скорость потока в термостате может быть низкой (low), нормальной (normal) и высокой (high). Разность между заданной температурой жидкости и текущей может быть: отрицательной предельной ($minus_{limit}$), отрицательной нормальной ($minus_{normal}$), нормальной (norm), положительной нормальной ($plus_{normal}$), положительной предельной ($plus_{limit}$).

Параметр выбора оптимального режима регулирования может быть экономия электроэнергии (off), высокое быстродействие (on). На выходе нечёткого регулятора две переменных: ток, подаваемый на нагревательный элемент, и ток, подаваемый на двигатель насоса, создающего замкнутый поток жидкости внутри термостата. В соответствии с этим система регулирования имеет базис из десяти правил: 1. Если скорость изменения температуры близка к минимально возможному значению и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока максимальная, нагреватель включён на максимальное значение; 2. Если скорость изменения температуры имеет отклонение в отрицательную сторону и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока максимальная, нагреватель включён на среднее значение; 3. Если скорость изменения температуры близка к нулю и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока средняя, нагреватель выключен; 4. Если скорость изменения температуры имеет отклонение в положительную сторону и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока средняя, нагреватель выключен; 5. Если скорость изменения температуры близка к максимально возможному значению и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока максимальная; 6. Если скорость изменения температуры близка к минимально возможному значению и если выбран режим регулирования «экономия», то скорость потока минимальная, нагреватель включён на максимальное значение; 7. Если скорость изменения температуры имеет отклонение в отрицательную сторону и если выбран режим регулирования «экономия», то скорость потока минимальная, нагреватель включён на среднее значение; 8. Если скорость изменения температуры близка к нулю и если выбран режим регулирования «экономия», то скорость потока низкая; 9. Если скорость изменения температуры имеет отклонение в положительную сторону и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока средняя; 10. Если скорость изменения температуры близка к максимально возможному значению и если выбран режим регулирования «качество», то скорость потока максимальная.

Полученный алгоритм представлен в виде «плоскости регулирования» (Surface Viewer) и диаграмм управления (Rules Viewer) на рис. 3.

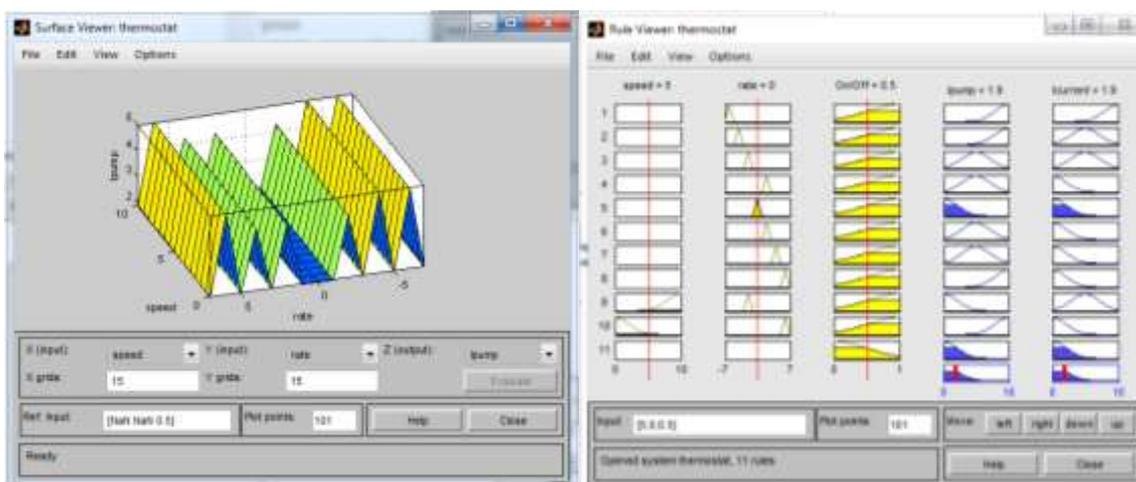


Рис. 3- «Плоскость регулирования».

Для оценки результата работы нечёткого регулятора была создана аналогичная модель термостата, но вместо нечёткого регулятора был использован К – регулятор.

На рис. 4 изображены графики температурных зависимостей при использовании стандартного К - регулятора: график «delta» - график зависимости погрешности поддержания температуры от времени; графики «temperatures» - графики зависимости температуры в термостате (верхний) и температуры погружённого в термостат прибора (синусоида) от времени.

На рис. 5 изображены графики температурных зависимостей при использовании нечёткого регулятора: график «delta» - график зависимости погрешности поддержания температуры от времени; графики «temperatures» - графики зависимости температуры в термостате и температуры погружённого в термостат прибора (синусоида с максимальной амплитудой) от времени.

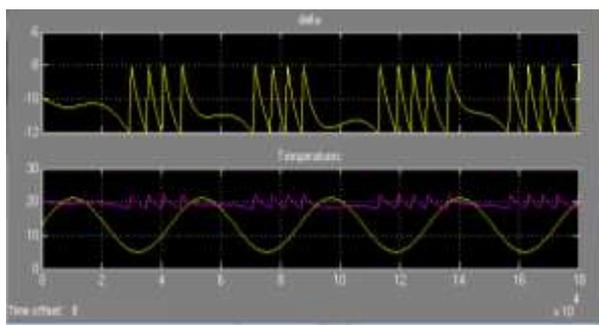


Рис. 4- К-регулятор.

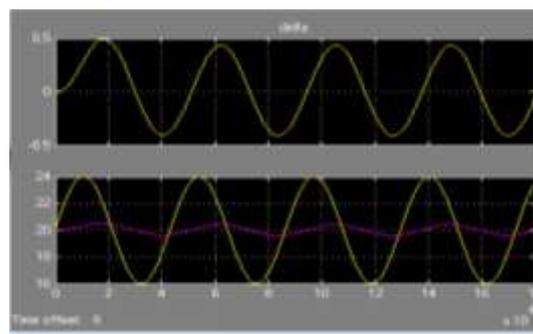


Рис. 5- Нечёткий регулятор.

Вывод: В данной работе методом математического моделирования в MATLAB исследована система регулирования температуры теплоносителя на выходе смесителя (термостата) с нечёткими регуляторами (регуляторами работающими на базе нечёткой логики). А так же получены показатели качества системы в переходном и установившемся режимах. Приведённые в статье результаты могут являться базой для создания установки для точной поверки скважинной геофизической термометрии.

Список литературы:

1. *Гостев В.И.* Система регулирования температуры теплоносителя на выходе смесителя с нечеткими регуляторами // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2005. -№1. С. 26-29.
2. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736с.

А. С. Григоров

Череповецкий государственный университет
кафедра информационной безопасности
Россия, г. Череповец
andreygrigorov1986@gmail.com

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В SQL-ЗАПРОСАХ К БАЗАМ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАПРОСОВ

В данной работе представлена методика обнаружения аномалий в SQL-запросах к базе данных, основанная на оценке взаимосвязей между данными, попавшими в результат выполнения запроса. Рассматривается подход, заключающийся в оценке результата выполнения запроса путём вычисления плотности графа, отражающего корреляционные взаимосвязи между результирующими данными.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, системы обнаружения вторжений, плотность графа.

В настоящее время в связи с увеличением объёмов информации, обрабатываемых различными информационными системами, защита баз данных становится всё более актуальной задачей. Последнее десятилетие отмечено рядом исследований в области создания систем обнаружения вторжений (СОВ), ориентированных на работу с системами управления базами данных (СУБД). Значительное число разработанных подходов основано на различных методах обнаружения аномалий в поведении пользователей базы данных (БД), причём в данных подходах в качестве одного из основных объектов, используемых в роли источников информации о поведении, выступает SQL-запрос. Вопросам обнаружения аномалий в SQL-запросах посвящены работы Ф. Валера, Д. Мутца, Д. Вигны [11], А. Кармы, Э. Бернито [3, 5, 6], А. Павлова [2], Н. Коломыцева, С. Носок [1], А. Спалки [10], К. Чанг [4], С. Ли, П. Вонг [7], В. Лоу [8] и др. Рассматриваемые в этих работах способы обнаружения аномалий в SQL-запросах предлагают оценивать запрос до его выполнения на основе различных синтаксических характеристик текста запроса. При таком подходе рассматривается статичная модель SQL-запроса, не учитывающая текущее состояние данных, хранящихся в БД. Следует также отметить, что несмотря на то, что с точки зрения синтаксического анализа структуры запросов могут совпадать, результаты выполнения этих запросов могут существенно различаться. Иными словами, даже при схожести синтаксической структуры семантические составляющие запросов могут быть различны.

В последние годы было предложено [10] расширить область анализируемых свойств запросов, добавив к уже существующим оценкам, оценку результата выполнения запросов. Причём в работе С. Мэтью, М. Петропулос, Х. Гно [9] было показано, что такой подход позволяет более эффективно, нежели методы, выполняющие оценки на основе синтаксических свойств SQL-запроса, обнаруживать некоторые классы атак, к которым, например, можно отнести атаки «сбора данных» (data harvesting). Однако предлагаемый метод статистической оценки результата выполнения запроса имеет высокий уровень ложных срабатываний (до 23%), что показывает актуальность разработки новых, более точных методов. Следует отметить, что в существующих подходах рассматриваются лишь статистические характеристики результатов выполнения запросов и не учитываются возможные взаимосвязи между данными, выбираемыми запросом.

В данной статье рассматривается метод обнаружения аномалий в SQL-запросах на выборку данных из таблиц БД, основанный на анализе взаимосвязей во множестве

выбранных из таблиц БД записей. Результатом выполнения запросов на выборку данных является множество записей $R = \{r_1, r_2, \dots\}$, удовлетворяющих заданным в запросе условиям. Таким образом, можно сказать, что выбранные записи имеют общие схожие черты. Базовым утверждением, на котором строится предлагаемая модель определения аномальных запросов к БД, является утверждение о том, что данные, хранящиеся в таблице БД, не обособлены друг от друга, а связаны между собой. Причём связь между записями определяется множеством результатов выполнения всевозможных запросов, допустимых при нормальной работе защищаемой системы. Исходя из того, что при выполнении различных запросов могут быть выбраны различные множества записей, определим для каждой записи r_i множество записей F_{r_i} , с которыми запись r_i может появляться в результате выполнения какого-нибудь запроса, и множество записей U_{r_i} , появление вместе с которыми в результате выборки не является ожидаемым событием. Тогда, составив такие множества F_{r_i} и U_{r_i} на основе набора результатов допустимых SQL-запросов, результат выполнения любого запроса можно будет оценить с точки зрения того, насколько связанным оказалось выбранное множество записей. Если среди выбранных записей будет много таких пар записей r_x и r_y , что $r_x \in U_{r_y}$ или $r_y \in U_{r_x}$, то это может служить сигналом того, что были выбраны записи, которые при ожидаемом поведении пользователя не могут появляться в результате выполнения какого-нибудь запроса, а это в свою очередь будет свидетельствовать об аномальности выполненного SQL-запроса.

Следует отметить тот факт, что, несмотря на то, что запрос оценивается только после своего выполнения, цель избежать утечки информации достижима, так как запрашиваемые данные могут быть возвращены только в том случае, если результат выполнения запроса будет признан допустимым.

Множество всех записей в таблице T и их взаимосвязь друг с другом можно представить в виде графа G_T , в котором вершинам соответствуют записи, а ребрам – связи между ними. Граф G_T не является фиксированным, а соответствует текущему состоянию таблицы T и может меняться с течением времени в зависимости от модификации данных, хранимых в таблице.

Пусть $q \in Q$ – SQL-запрос, адресованный базе данных. Q – множество синтаксически правильных SQL-запросов, которые могут быть выполнены СУБД в контексте некоторой базы данных $S = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, где T_i – таблица в БД.

Определим $DB: Q \rightarrow A$ как функцию, переводящую SQL-запрос в отношение базы данных по правилам реляционной алгебры, где A – множество отношений, которые могут быть получены в результате выполнения запросов.

Обозначим как $G_{T_i}(V_{T_i}, E_{T_i})$ граф, описывающий связи между записями из таблицы $T_i \in S$, где V_{T_i} – множество вершин графа, в котором каждая вершина имеет взаимно однозначное соответствие с некоторой записью из таблицы T_i , а $E_{T_i} = \{\{v_j, v_k\} \mid v_j, v_k \in V_{T_i}\}$ – множество рёбер графа. На множестве E_{T_i} определим функцию $w_{T_i}: E_{T_i} \rightarrow \{0, 1\}$, которая каждому ребру из множества E_{T_i} будет ставить в соответствие значение либо 0, либо 1. Значение 1 будет означать существование связи между записями в таблице, которые соответствуют вершинам, соединённым рассматриваемым ребром, а 0 – отсутствие связи.

Для построения графа G_{T_i} для каждой записи r_j из таблицы T_i необходимо знать, какие записи включены во множество F_{r_j} . Так как каждая запись в таблице представляет

собой набор значений атрибутов, то данное множество F_{r_j} может быть описано с помощью указания ограничений на значения атрибутов записей. Записи, значения атрибутов которых удовлетворяют заданным ограничениям, будут включаться во множество F_{r_j} . Таким образом, с каждой записью из таблицы связан некоторый набор ограничений, описывающий множество F_{r_j} этой записи.

Правило определения существования связи между двумя записями можно представить в виде функции $F(r_j, r_k)$, аргументом которой является пара записей r_j и r_k , а значение функции равно 1, если между записями существует связь, или 0, если связи не существует.

Если множество значений атрибута записи представляет собой линейно упорядоченное множество, то для описания допустимых значений атрибута записи из F_{r_j} можно, например, указывать нижнюю и верхнюю границу отрезка, в который должны попадать значения атрибутов записей из F_{r_j} .

Используемые для упорядочивания атрибутов отношения порядка зависят от связанных с ними типов данных. Однако для различных атрибутов, имеющих один и тот же тип, вовсе не обязательно использовать одно и то же отношение порядка. Так отношение порядка может определяться семантикой данных, являющихся значениями атрибута. Для числовых данных в качестве примера отношения порядка можно привести обычное отношение неравенства двух чисел, а для строк можно использовать лексикографический порядок или проводить сравнение по их длине.

Таким образом, получаем, что для записи $r_j = (r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jn})$ множество F_{r_j} определяется двумя векторами: $\min_j = (\min_{j1}, \min_{j2}, \dots, \min_{jn})$ и $\max_j = (\max_{j1}, \max_{j2}, \dots, \max_{jn})$, где \min_j – вектор, задающий нижнюю границу, а \max_j – верхнюю. Вектора \min_j и \max_j для записи r_j задают n -мерный многогранник. Все записи, попадающие внутрь данного многогранника, принадлежат множеству F_{r_j} .

Тогда условие существования связи между двумя записями r_i и r_j можно задать следующим образом:

$$\min_{jl} \leq r_{kl} \leq \max_{jl}$$

$$\min_{kl} \leq r_{jl} \leq \max_{kl}$$

где $l = \overline{1, n}$.

Таким образом, граф G_{T_i} будет строиться на основании значений векторов \min и \max каждой записи. Значения же векторов \min и \max будут вычисляться на этапе обучения системы, а также корректироваться во время её работы в боевом режиме. Тогда весовую функцию рёбер графа G_{T_i} можно принять равной $w_{T_i}(e_{jk}) = F(r_j, r_k)$.

Пусть $H: A \rightarrow G'_{T_i}(V'_{T_i}, E'_{T_i}) \subseteq G_{T_i}(V_{T_i}, E_{T_i})$ – функция, которая результату выполнения запроса ставит в соответствие подграф графа $G_{T_i}(V_{T_i}, E_{T_i})$, где во множество V'_{T_i} попадают только те вершины из множества V_{T_i} , которым соответствуют записи, выбранные рассматриваемым запросом, а $E'_{T_i} = \{e_{jk} = (v_j, v_k) \mid (v_j, v_k) \in E_{T_i} \wedge v_j, v_k \in V'_{T_i}\}$. В качестве весовой функция для рёбер графа G'_{T_i} используется та же функция w_{T_i} , что и для графа G_{T_i} .

В соответствии с вышесказанным процесс обнаружения аномалий в запросе можно представить следующим образом. База данных получает запрос q за данными из таблицы T_i , выполняет его и возвращает список выбранных записей. На основе выбранных записей строится граф G_{T_i}' , который является подграфом графа G_{T_i} для таблицы, к которой выполнялся запрос. Далее для построенного графа G_{T_i}' необходимо определить насколько взаимосвязанным является множество записей, соответствующих его вершинам. Если граф отражает слабосвязанное множество выбранных записей, то запрос, породивший этот граф, будет считаться аномальным, иначе – допустимым. Возникает вопрос, как именно оценивать то, насколько сильно взаимосвязаны вершины в графе G_{T_i}' . На сегодняшний день разработано большое количество способов, позволяющих характеризовать структуру графа. В основе этих способов лежат как локальные (степень и центральность вершин), так и глобальные (энтропия графа, компактность, плотность графа, коэффициент кластеризации) меры.

В данной работе для оценки структуры графа использовалась плотность графа – величина, значение которой равно отношению суммы весов всех рёбер графа к максимально возможному весу, который мог бы иметь рассматриваемый граф. Значение плотности графа G_{T_i}' можно вычислить по формуле

$$D(G_{T_i}') = \frac{\sum_{j=1, k=1}^{|V_{T_i}'|} w_{T_i}(e_{jk})}{|V_{T_i}'|^2}$$

Плотности графа принимает значение из отрезка $[0, 1]$.

Если задать определённое пороговое значение для плотности графа, то в зависимости от того, какая плотность будет у графа G_{T_i}' , построенного на основе результата, можно будет судить о его аномальности. Если плотность будет выше установленного порога, то запрос признаётся нормальным, если ниже, то считается аномальным. Действительно, чем меньше плотность, тем меньше средний вес рёбер, а это означает меньшую зависимость вершин графа друг от друга. Таким образом, низкая плотность графа свидетельствует о том, что выбранные в результате запроса записи имеют между собой слабые связи.

Тогда решающее правило можно представить в виде функции $Y: [0, 1] \rightarrow \{0, 1\}$, которая плотности графа G_{T_i}' ставит в соответствие либо 0, либо 1, где 0 означает, что результат признан аномальным, а 1 то, что результат выполнения запроса признан нормальным.

$$Y(x) = \begin{cases} 0, & x < \alpha \\ 1, & x \geq \alpha \end{cases},$$

где x – значение плотности графа, а $\alpha \in [0, 1]$ – значение установленного порога плотности.

Таким образом, в целом функция $Z: Q \rightarrow \{0, 1\}$ оценки аномальности запроса $q \in Q$ будет представлять собой композицию ранее описанных функций:

$$Z(q) = Y(D(H(DB(q)))).$$

Описанная модель имеет в качестве своего параметра пороговое значение плотности α , от которого напрямую зависит, будет запрос признан нормальным или нет. Так если пороговое значение $\alpha = 0$, то какой бы граф G_{T_i}' не был получен в результате выполнения

запроса, запрос всегда будет признан допустимым, так как $D(G'_{T_i}) \geq 0 = \alpha$. С другой стороны, если $\alpha = 1$, то запрос будет признан нормальным только в случае, когда плотность графа G'_{T_i} будет равна 1, а это возможно, если граф G'_{T_i} является полным и все его рёбра имеют вес равный 1. Очевидно, что в первом случае установление нулевого порога плотности равносильно отказу от проведения оценки аномальности запроса, так как какой бы запрос не был выполнен, он всегда будет признан нормальным. Во втором же случае пороговое значение плотности может оказаться слишком жёстким, что приведёт к большому количеству ложных срабатываний, когда нормальный запрос ошибочно будет признан аномальным. Поэтому необходимо выбирать пороговое значение плотности таким образом, чтобы обеспечить наилучшее качество оценки запросов.

Для определения оптимального порогового значения плотности графа необходимо при различных значениях порога плотности графа α выполнить классификацию запросов из некоторого тестового множества, в котором заранее известно, какие запросы являются нормальными, а какие аномальными. Значения для порогов плотности можно определить как $\alpha_j = \frac{i}{N}$, где $i = \overline{0, N}$. Обозначим как TP_{α_j} количество верно классифицированных аномальных запросов при некотором пороге плотности α_j , как TN_{α_j} – количество верно опознанных нормальных запросов, как FN_{α_j} – количество случаев ошибочного признания аномального запроса нормальным, как FP_{α_j} – количество случаев признания нормального запроса аномальным. Чувствительность метода определяется как

$$TPR_{\alpha_j} = \frac{TP_{\alpha_j}}{TP_{\alpha_j} + FN_{\alpha_j}},$$

а специфичность как

$$TNR_{\alpha_j} = \frac{TN_{\alpha_j}}{TN_{\alpha_j} + FP_{\alpha_j}}.$$

Доля ошибочных признаний нормальных запросов аномальными FPR_{α_j} равна $1 - TNR_{\alpha_j}$.

В результате выполнения оценки тестового множества на различных значениях порога плотности будет получено множество точек вида $(1 - TNR_{\alpha_j}, TPR_{\alpha_j})$, которые проецируются на плоскость, и их соединение графиком аппроксимирующей функции задаёт ROC-кривую. Определение оптимального порогового значения зависит от выбранного критерия оптимальности. Так в качестве такого критерия можно использовать следующее ограничение:

$$\begin{cases} TPR_{\alpha} + TNR_{\alpha} \rightarrow \max \\ \alpha \in [0, 1] \end{cases}$$

Рассмотренный метод был изучен с точки зрения применимости к реляционным базам данных, однако предложенный подход может быть перенесён и на другие системы, работающие по принципу «запрос-ответ». В рамках исследования на базе предлагаемого метода был реализован прототип системы обнаружения аномалий в SQL-запросах. Результаты эксперимента показали, что при достаточно полном обучении, при котором рассматриваются большое количество типовых запросов, чувствительность системы (доля обнаруженных аномальных запросов) составляет 83-97%, а вероятность ложного срабатывания 1-3% (рисунок 1).

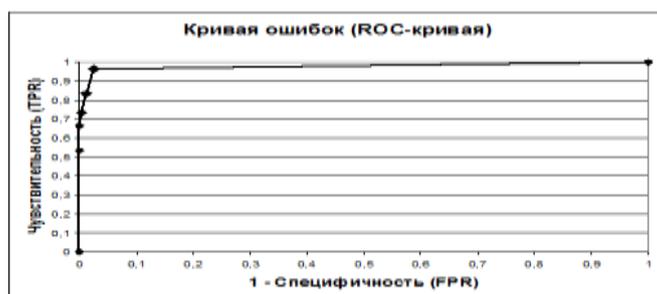


Рис. 1 – Кривая ошибок метода обнаружения аномалий в SQL-запросах на основе оценки результатов выполнения запросов.

Список литературы:

1. Коломыцев М., Носок С. Аудит аномального поведения пользователей баз данных // Правовое, нормативное и метрологическое обеспечение системы защиты информации в Украине. Научно-технический сборник. - Киев, 2008.
2. Павлов А.В. Обнаружение аномальной активности в реляционных базах данных на основе искусственных иммунных систем с отрицательным отбором. // Научно-технический вестник Поволжья. №1 2011 г. - Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. - с. 166-168.
3. Bertino E., Kamra A., Terzi E., Vakali A., Intrusion Detection in RBAC-administered Databases // ACSAC '05 Proceedings of the 21st Annual Computer Security Applications Conference, 2005 – P. 170-182.
4. Chung C. Y., Gertz M., Levitt K. DEMIDS: A Misuse Detection System for Database Systems // In Third Annual IFIP TC-11 WG 11.5 Working Conference on Integrity and Internal Control in Information Systems, Kluwer Academic Publishers, November 1999 – P. 159-178.
5. Kamra A., Bertino E., Lebanon G. Mechanisms for Database Intrusion Detection and Response // IDAR '08 Proceedings of the 2nd SIGMOD PhD workshop on Innovative database research – P. 31-36.
6. Kamra A., Terzi E., Bertino E. Detecting anomalous access patterns in relational databases // The VLDB Journal. Volume 17, Number 5 – P. 1063-1077.
7. Lee S.Y., Low W.L., Wong P.Y., Learning Fingerprints for a Database Intrusion Detection System // COMPUTER SECURITY — ESORICS 2002. Lecture Notes in Computer Science, 2002, Volume 2502/2002 – P. 264-279.
8. Low W.L., Lee J., Teoh P. DIDAFIT: Detecting intrusions in databases through fingerprinting transactions // International Conference on Enterprise Information Systems, 2002.
9. Mathew S., Petropoulos M., Hung Q. Ngo, Shambhu Upadhyaya. A Data-Centric Approach to Insider Attack Detection in Database Systems // Recent Advances in Intrusion Detection: 13th International Symposium, RAID, 2010 – P. 382-401.
10. Spalka A., Lehnhardt J. A comprehensive approach to anomaly detection in relational databases // In DBSec, 2005 – P. 207–221.
11. Valeur F., Mutz D., Vigna G. A Learning-Based Approach to the Detection of SQL Attacks // Conference on Detection of Intrusions and Malware and Vulnerability Assessment (DIMVA), 2005.

Н. Н. Дацун, Г. П. Жигулин, О. Ю. Королева М. М. Несвит

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
Россия, пос. Бугры
koroleva.oy@spb.cbr.ru

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ УЯЗВИМОСТЕЙ, ВКЛЮЧАЯ НДВ

Статья посвящена обзору современных методов оценки эффективности защищенности информационных систем от уязвимости, включая недеklarированные возможности (НДВ). Производится анализ преимуществ и недостатков рассматриваемых методов.

Ключевые слова: угрозы, информационная безопасности, система защиты, моделирование, риск, НДВ.

В данной работе рассмотрены четыре метода оценки эффективности защищенности информации и представлен метод выбора оптимальной системы защиты от уязвимостей, включая НДВ.

Количественная оценка защищенности с точки зрения риска.

Защищенность информационной системы (Z) оценивается количественно в зависимости от ценности защищаемых ресурсов, вероятности реализации угроз (обнаружения НДВ), расходов на систему защиты, производительности информационной системы [1]:

$$Z = f(C_{инф}, p_{взл}, Ц_{сзи}, П)$$

где $C_{инф}$ - стоимость защищаемой информации, $p_{взл}$ - вероятность реализации угрозы, $Ц_{сзи}$ - стоимость системы защиты информации, $П$ - производительность информационной системы. Оптимизационная задача состоит в обеспечении максимального уровня защищенности при минимальной стоимости системы защиты и минимальном влиянии ее на производительность системы:

$$Z_{opt} = \max(Z(C_{инф}, p_{взл}, Ц_{сзи}, П))$$

Таким образом, задачи оценки эффективности системы защиты имеет многокритериальный характер. Для сведения ее к однокритериальной введем дополнительные параметры: D - коэффициент защищенности, R - мультипликативный критерий риска ($R_{защ}$ - риск в защищенной системе, $R_{нез}$ - риск в незащищенной системе).

Рассмотрим защищенность системы с точки зрения риска:

$$R(p) = C_{инф} \cdot p_{взл}$$

Так же риск можно рассматривать как потери в единицу времени:

$$R(\lambda) = C_{инф} \cdot \lambda_{взл} \text{ где } \lambda_{взл} - \text{интенсивность потока реализации угрозы}$$

Эти две формулы связаны следующим соотношением: $p_{acc} = \lambda_{acc}/L$, где L - общая интенсивность потока реализации угроз.

В качестве основного критерия защищенности будем использовать коэффициент защищенности (D), показывающий относительное уменьшение риска в защищенной системе по сравнению с незащищенной.

$$D = (1 - R_{\text{защ}} / R_{\text{нез}}) \cdot 100\%$$

Таким образом, в данном случае задача оптимизации выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} D(C_{\text{инф}}, p_{\text{взл}}) \rightarrow \max \\ \Pi_{\text{сзи}} \rightarrow \min \\ \Pi_{\text{сзи}} \rightarrow \max \end{cases}$$

Для решения этой задачи сведем ее к однокритериальной посредством введения ограничений. В результате получим:

$$\begin{cases} D(C_{\text{сзи}}, p_{\text{взл}}) \rightarrow \max \\ \Pi_{\text{сзи}} \leq \Pi_{\text{зад}} \\ \Pi_{\text{сзи}} \geq \Pi_{\text{зад}} \end{cases}$$

где $\Pi_{\text{зад}}$ и $\Pi_{\text{зад}}$ — заданные ограничения на стоимость системы защиты и производительность информационной системы.

Теперь выразим коэффициент защищенности через параметры угроз. В общем случае в информационной системе присутствует множество угроз. В этих условиях зададим следующие величины: w - количество угроз, воздействующих на систему, C_i ($i = 1, \dots, w$) - потери от взлома i -того вида, λ_i ($i = 1, \dots, w$) - интенсивность потока реализации i -того вида угрозы,

Q_i ($i = 1, \dots, w$) - вероятность появления угрозы i -того вида в общем потоке, причем $Q_i = \lambda_i / L$, p_i ($i = 1, \dots, w$) - вероятность отражения угрозы i -того вида системой защиты.

Соответственно, для коэффициента потерь от реализации угроз в системе защиты имеем: $R(p) = \sum_1^w R_i(p) = \sum_1^w C_i \cdot p_{\text{взл}i}$, где $R(p)$ - коэффициент потерь от угрозы i -того типа.

Для незащищенной системы $p_{\text{взл}i} = Q_i$, для защищенной системы $p_{\text{взл}i} = Q_i \cdot (1 - p_i)$.

Соответственно, для коэффициента потерь от реализации угроз в системе защиты имеем в единицу времени имеем $R(\lambda) = \sum_1^w R_i(\lambda) = \sum_1^w C_i \cdot \lambda_{\text{взл}i}$,

где $R(\lambda)$ - коэффициент потерь от реализации угроз i -того типа в единицу времени. Для незащищенной системы $\lambda_{\text{взл}i} = \lambda_i$, для защищенной системы $\lambda_{\text{взл}i} = \lambda_i \cdot (1 - p_i)$. Таким образом имеем:

$$D = 1 - \frac{\sum_1^w C_i \cdot Q_i \cdot (1 - p_i)}{\sum_1^w C_i \cdot Q_i} = 1 - \frac{\sum_1^w C_i \cdot \lambda_i \cdot (1 - p_i)}{\sum_1^w C_i \cdot \lambda_i}$$

Данный метод позволяет с высокой точностью рассчитать коэффициент защищенности системы, однако для его применения необходима полная и достоверная информация о статистике угроз и потерях от их реализации, получение которой бывает затруднительно.

Оценка защищенности с использованием графовой модели.

В основе данного метода лежит описание системы защиты информации, построенное на взаимодействии «области угроз», «области защищаемых объектов» и «области механизмов обеспечения безопасности». Отношения между их элементами и описывает систему защиты. Рассматривается формальная модель системы защиты информационной системы. Ее основой будем считать модель системы защиты с полным перекрытием [3]. Таким образом, имеем три множества:

$T = \{t_i\}$ - множество угроз, $O = \{o_i\}$ - множество объектов защищенной системы, $M = \{m_k\}$ - множество механизмов обеспечения безопасности.

Элементы этих множеств находятся между собой в определенных отношениях, собственно и описывающих систему защиты.

Развитие этой модели предполагает введение еще двух элементов:

$V = \{v_r\}$ — набор уязвимостей, определяемый подмножеством декартова произведения $T \cdot O$: $v_r = \langle t_i, o_j \rangle$. Таким образом, под уязвимостью системы защиты будем понимать возможность осуществления угрозы t в отношении объекта o .

$B = \{b_1\}$ — набор барьеров, определяемый декартовым произведением $V \cdot M$: $b_1 = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$, представляющих собой пути осуществления угроз безопасности, перекрытые средствами защиты. В результате получаем систему, состоящую из пяти элементов: $\langle T, O, M, V, B \rangle$, описывающую систему защиты с учетом наличия в ней уязвимостей.

Защищенность информационной системы от угроз определяется количеством уязвимостей, для которых в системе не создано барьеров, перекрывающих эти уязвимости, а также прочностью существующих барьеров.

В отличие от идеальной в реальной ситуации механизмы защиты обеспечивают лишь некоторую степень сопротивляемости угрозам безопасности. В связи с этим в качестве характеристик элемента набора барьеров $b_1 = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$, может рассматриваться набор $\langle P_1, L_1, R_1 \rangle$, где

P_1 - вероятность появления угрозы, L_1 - величина ущерба при удачном осуществлении угрозы (уровень серьезности угрозы), R_1 - степень сопротивляемости механизма защиты m_k .

Прочность барьера $b_1 = \langle t_1, o_1, m_k \rangle$ характеризуется величиной остаточного риска $Risk_1$, связанного с возможностью осуществления угрозы безопасности t_i в отношении объекта информационной системы o_j , при использовании механизма защиты m_k . Эта величина определяется по формуле:

$$Risk_1 = P_k \cdot L_k \cdot (1 - R_k)$$

Для определения величины защищенности S можно использовать следующую формулу:

$$S = 1 / \sum_{(\forall b_k \in B)} (P_k \cdot L_k \cdot (1 - R_k)), \text{ где } P_k, L_k \in (0,1), R_k \in [0,1].$$

В этой формуле, знаменатель определяет суммарную величину остаточных рисков, связанных с возможностью осуществления угроз безопасности T в отношении объектов системы o , при использовании механизмов защиты M . Суммарная величина остаточных рисков характеризует «общую уязвимость» системы защиты, а защищенность системы определяется как величина, обратная ее «уязвимости». При отсутствии в системе барьеров b_k , перекрывающих определенные уязвимости, степень сопротивляемости механизма защиты R_k принимается равной нулю.

Экспертная оценка.

Рассматриваемый метод предполагает экспертную оценку, включающую оценку угроз и оценку уязвимостей.

Для оценки угроз выбираются следующие косвенные факторы:

- статистика по зарегистрированным инцидентам;
- тенденции в статистке по подобным нарушениям;
- наличие интереса к ресурсам системы;
- наличие альтернативных способов доступа к информации;
- статистика по подобным нарушениям;

Для оценки уязвимостей выбраны следующие косвенные факторы:

- количество рабочих мест (пользователей) в системе;
- осведомленность руководства о действиях сотрудников;
- характер используемого оборудования и ПО;
- полномочия пользователей в информационной системе.

По косвенным факторам предлагаются вопросы с фиксированными вариантами ответов, которые «стоят» определенное количество баллов. Итоговая оценка угрозы и уязвимости данного класса определяется суммированием баллов. Далее проводится опрос экспертов, при этом необходимо определить условные значения квалификации каждого из них. Исходя из этого, рассчитывается вес в группе, затем итоговые оценки угрозы и уязвимости получаются суммированием с учетом весов экспертов. Расчет коэффициента защищенности проводится по приведенным выше формулам. После получения общей оценки всей группы рассматривается согласованность ответов, которая может использоваться для оценки достоверности результатов. [3]

Достоинство данного подхода — возможность учета множества косвенных факторов (и не только технических).

Однако, косвенные факторы и их веса зависят от сферы деятельности организации, а также от ряда иных обстоятельств. Таким образом, метод всегда требует подстройки под конкретную информационную систему.

Список литературы:

1. А.Ю. Щеглов. Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа». СПб. - «Наука и техника», 2004.- 384 с.
2. Майкл Ховард, Дэвид Лебланк, «Защищенный код», издательство «Русская редакция», 2008. - 224 с.
3. Сайт «Защита информации, управление информационной безопасностью и рисками», iso27000.ru.

А. П. Денисова д.т.н., Т. А. Емельянова

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина
Россия, г. Саратов
emelyanva-tanya@mail.ru

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ МНОГОСЛОЙНОЙ СТЕНЫ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Предложен алгоритм расчета многослойной конструкции стены. Создана программа расчета многослойных стен с внешними несущими слоями. Проведены численные эксперименты расчета многослойной стены для конструкции одноэтажного и мансардного жилых домов.

Ключевые слова: многослойная стена, алгоритм расчета, программа расчета.

Объектом исследования является новая многослойная конструкция биопозитивной стены (БПС) для малоэтажных зданий [1], состоящая из 5 слоев, которые симметричны относительно продольной оси: утеплителя из органического материала (плотных соломенных блоков); двух контактных слоев соломобетона и двух несущих слоев из армированного торкрет-бетона (рис. 1 а).

НДС многослойной конструкции стены БПС в значительной мере зависит от соотношения модулей упругости (рис. 1 б). Так как модуль упругости несущего слоя E_1 в 4550 раз больше модуля упругости утеплителя E_3 и в 1,4 раза модуля упругости контактного слоя E_2 , поэтому работу контактного слоя рассматривается как запас прочности, а работа теплоизоляционного слоя не учитывается из-за значительного различия модулей упругости ($E_1 \gg E_3$ в 4000 раз).

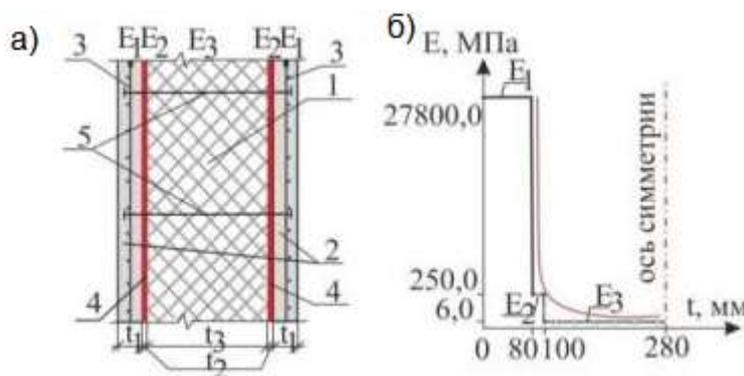


Рис. 1 - Конструкция БПС: а – конструктивное решение БПС; б – жесткости слоев: 1 – органический утеплитель из прессованных соломенных блоков; 2 – торкрет-бетон; 3 – арматурная сетка; 4 – соломобетон; 5 – гибкие связи из стеклопластиковой арматуры (размер рис. 4,76x9 см).

Распределение вертикального давления между несущими слоями принимается равномерным (рис. 2 б), учитывая конструкцию узла опирания перекрытия на стену БПС [2].

Для исследования работы многослойной стены БПС одноэтажного жилого дома с действительных нагрузок вырежем полосу шириной равной шагу b несущего элемента перекрытия (рис. 2 а). Тогда расчетная схема стены будет представлять собой однопролетную балку, жестко защемленную с одной стороны и шарнирно опертую с другой, нагруженную горизонтальной нагрузкой q_w и продольной силой N (рис. 2 в). Расчетное

сечение балки принято составным с двумя несущими слоями из торкрет-бетона, соединенным между собой связями (рис. 2 г).

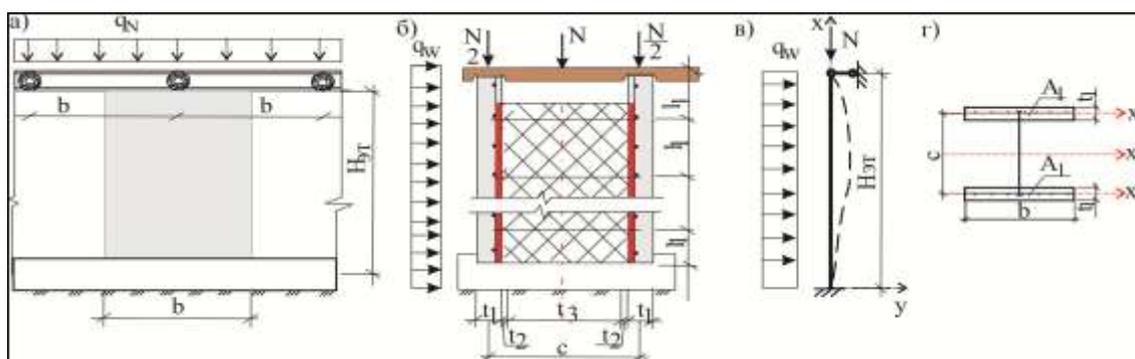


Рис. 2 - Построение расчетной схемы БПС
а – общий вид стены; б – поперечное сечение; в – расчетная схема;
г – расчетное сечение

Учитывая особенности конструктивного решения алгоритм расчета можно разбить на несколько этапов: расчет на прочность, устойчивость, оценка работы связей.

Согласно принятой расчетной схеме БПС (рис. 2 в, г), напряженно-деформационное состояние балки составного сечения, работающей на продольно-поперечный изгиб, можно представить дифференциальным уравнением (величина сжимающей силы ниже критической):

$$\frac{d^4 f}{dx^4} - k^2 \frac{d^2 f}{dx^2} = \frac{q_w(x)}{E_1 I_x}, \quad (1)$$

где $q_w(x)$ – интенсивность горизонтальной нагрузки; $k = \sqrt{N/E_1 I_x}$, $E_1 I_x = 2E_1 I_{x1}$ – изгибная жесткость балки, E_1 – модуль упругости несущего слоя.

Решение дифференциального уравнения (1) представим в виде конечных аналитических выражений, полученных Шагивалеевым К.Ф.[3]:

$$\text{– прогиб: } f(x) = -q_w/k^4 E_1 I_x \cdot [0.5 \cdot k^2 x^2 + s_{53} \cdot (\cos kx - 1) + s_{54} \cdot (\sin kx - kx)] \quad (2)$$

$$\text{– изгибающий момент: } M(x) = -q_w/k^2 \cdot [1 - s_{53} \cdot \cos kx + s_{54} \sin kx] \quad (3)$$

$$\text{где } s_{53} = (k/(kL \cdot \cos kL - \sin kL)) \cdot (L + 0.5kL^2 \cdot \sin kL - (1/k) \cdot \sin kL),$$

$$s_{54} = (k/(kL \cdot \cos kL - \sin kL)) \cdot (1 - \cos kL - 0.5k^2 L^2 \cdot \cos kL), \quad L = H_{ЭТ}.$$

Напряжения в крайних наружных слоях составного сечения, находящихся в условиях линейного напряженного состояния, определяются, как известно, из выражения:

$$\sigma = M_{\max}/W \pm N/A, \quad (4)$$

где M_{\max} определяется из (3) при $x=3H_{ЭТ}/8$.

Учитывая соотношение $H_{ЭТ}/t_1=38-60$ необходимо провести оценку устойчивости несущего слоя БПС. Так как ранее было принято равномерное распределение величин опорных давлений на внутренний и внешний несущие слои торкрет-бетона, то будем рассматривать балку прямоугольного сечения размерами $t_1 \times b$, загруженную продольной силой $N/2$ и поперечной равномерно распределенной нагрузкой $q_w(x)$. Дифференциальное уравнение изогнутой оси такой балки будет иметь следующий вид [4]:

$$y'' = (N/2) y/E_1 I_{x1} - M_{\text{бал}}/E_1 I_{x1}$$

или $M'' + k^2 M + q = 0 \quad (5)$

где $k^2 = (N/2)/E_1 I_{x1}$; $M_{\text{бал}}$ – изгибающий момент в несущем слое сечением $t_1 \times b$, при отсутствии сжимающей силы.

Решение дифференциального уравнения (5), как известно, можно записать с достаточной для практических расчетов в следующем виде:

$$M = M_{\text{бал}} / (1 - (N/2) / N_0) \quad (6)$$

$$\text{где } N_0 = \pi^2 E_1 I_{x1} / (\mu \cdot L)^2.$$

Для оценки работы связей в составе БПС определим суммарные сдвигающие силы T_i составной балки. При этом величина продольной силы не учитывается, так как опорные давления на внешние несущие слои незначительно отличаются друг от друга и действуют в одинаковом направлении (рис. 2). Величину сдвигающих усилий можно представить дифференциальным уравнением [4]:

$$T^{IV} - \lambda^2 T'' = B, \quad (7)$$

где $B = \xi q_w c / \sum E_1 I_x$, $\lambda = \sqrt{\xi \gamma}$; $\gamma = 2 / (E_1 A + c^2 / (2E_1 I_{x1}))$; ξ – коэффициент жесткости шва соединения; c – расстояние между центрами тяжести сечений элементов, разделенных швом.

При этом, используя для решения дифференциального уравнения (7) метод конечных разностей получаем максимальные значения сдвигающих усилий:

$$T_{\text{max}} = Y_1 \cdot I_1^4 \cdot B - Y_2 \cdot T_5 \quad (8)$$

где Y_1, Y_2 – величины, зависящие от λ и метода решения уравнения; I_1 – шаг между связями (рис. 2 б).

На основе алгоритма была создана программа «Оценка НДС многослойных стен малоэтажных зданий» при помощи объектно-ориентированного языка С#, позволяющая производить расчет многослойных конструкций стен с различными модулями упругости несущих слоев.

Пример расчета многослойной биопозитивной стены. Учитывая потребности молодых специалистов в пригородных и сельских регионах Поволжья, проведены численные эксперименты в созданной программе с программным комплексом ЛИРА 9.6 двух вариантов конструкции жилых домов: для стен одноэтажного и мансардного домов (рис. 3) города Саратова с высотой этажа $H_{\text{эт}} = 3$ м. Толщина несущих слоев стены БПС принята $t_1 = 0,05$ м, модуль упругости $E_1 = 27800$ МПа. Связи выполнены из стеклоплатской арматуры $d = 5,5$ мм и модулем упругости $E = 50000$ МПа. Шаг связей равен высоте теплоизоляционного слоя – $I_1 = 0,6$ м. Исходные данные и необходимые для расчета сведения даны в табл. 1

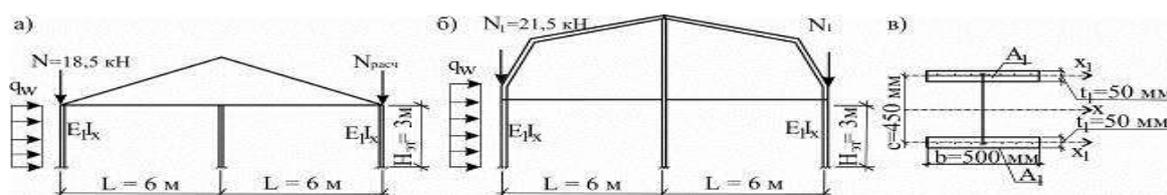


Рис. 3 - Схемы жилых домов, принятых для проведения численных экспериментов: а – одноэтажный дом; б – мансардный дом; в – расчетное сечение стены БПС (размер рис. 3,52x16 см).

Таблица 1

Расчетные сведения рассматриваемых вариантов

Тип дома	N, кН	q _w , кН/м	Геометрические характеристики				ξ, кН/м ²	λ, 1/м	с, м
			b×2t ₁	A	W	I _x			
Одноэтажный	18,5	0,223	0,5 × (2·0,05)	0,05	0,0042	10,4 × 10 ⁻⁶	4,4 × 10 ³	1,24	0,45
Мансардный	21,5								

Результаты расчета НДС представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета

Вид расчета	Одноэтажный дом	Мансардный дом
1	2	3
<i>Работа на прочность несущих слоев</i>		
Предложенный алгоритм расчета	$\sigma_{ал}=7,72 \text{ МПа} < R_b=13,5 \text{ МПа}$	$R_{bt}=0,98 \text{ МПа}$ $< \sigma_{ал}=6,47 \text{ МПа} < R_b=13,5 \text{ МПа}$
ПК Лира	$\sigma_{лира}=6,87 \text{ МПа} < R_b=13,5 \text{ МПа}$	$\sigma_{лира}=5,75 \text{ МПа} < R_b=13,5 \text{ МПа}$
Сравнение результатов	11%	11 %
<i>Работа на устойчивость</i>		
Предложенный	$N_{кр.ал}=64,7 \text{ кН} > N_{расч}/2=9,25 \text{ кН}$	$N_{кр.ал}=64,7 \text{ кН} > N_{расч}/2=10,75 \text{ кН}$
Продолжение табл. 2		
1	2	3
алгоритм расчета		
ПК Лира	$N_{кр.лира}=59,5 \text{ кН} > N_{расч}/2=9,25 \text{ кН}$	$N_{кр.лира}=59,5 \text{ кН} > N_{расч}/2=10,75 \text{ кН}$
Сравнение результатов	8,0 %	8,0 %
<i>Работа связей несущих слоев</i>		
Предложенный алгоритм расчета	$T_{ал}=0,566 \text{ кН}$	$T_{ал}=0,566 \text{ кН}$
ПК Лира	$T_{лира}=0,549 \text{ кН}$	$T_{лира}=0,549 \text{ кН}$
Сравнение результатов	3%	3%

Таким образом, оценка НДС по предложенной программе и в программном комплексе Лира 9.6 показали хорошую (в пределах 3-11%) сходимость результатов, поэтому разработанный алгоритм можно рекомендовать для использования расчета многослойных конструкций стен с внешними несущими слоями.

Достоинством предложенного алгоритма и программы расчета является доступность его использования и сокращение времени при оценке НДС многослойных стен малоэтажных зданий. Программа предназначена для оценки НДС многослойной стены с внешними несущими слоями для проектирования малоэтажных зданий и может применяться при разработке проектов жилых домов малоэтажных зданий в строительных институтах и организациях.

Список литературы:

1. Емельянова Т.А., Денисова А.П. Многослойный строительный элемент // Патент России № 9844. 2010 Бюл. № 29.
2. Емельянова Т.А., Денисова А.П. Малоэтажный жилой дом для сельских районов // Сб. статей XXIV международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». Т.8. Саратов: СГТУ, 2011. С.27–29.
3. Продольно–поперечный изгиб стержней: Учебное пособие./К.Ф. Шагивалиев, А.А. Пшенов. Саратов: Саратов. гос. техн. ун–т., 1999. – 144 с.
4. Ржаницын А.Р. Строительная механика: учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 400 с.

Л. С. Диньмухаметова¹, Е. В. Пояркова² к.т.н.

Самарский государственный университет путей сообщения (филиал в г. Орске)
Россия, г. Орск
michmen08@yandex.ru

²Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) Оренбургского государственного университета
Механико-технологический факультет
Россия, г. Орск

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Выявлено, что при сварке сталей повышенной прочности классов Х65 и Х75 имеет место образование мягких прослоек, оказывающих отрицательное влияние на несущую способность сварных соединений. Путем варьирования геометрии и степени неоднородности сварных соединений установлены зависимости изменения показателей предельной несущей способности от характера механической неоднородности. Обоснован комплексный критерий неоднородности сварных соединений, с использованием которого найдены аналитические выражения для оценки изменения показателей несущей способности методами неразрушающего контроля.

Ключевые слова: сварные соединения, механическая неоднородность, мягкие прослойки, несущая способность, диагностика, методы неразрушающего контроля.

В результате термического воздействия в зоне сварки в металле происходят деформационные и структурные изменения, отражающиеся на свойствах материала. Так, при сварке сталей повышенной прочности имеет место образование участков разупрочненного металла, которые могут оказывать отрицательное влияние на несущую способность конструкций.

Цель настоящего исследования - анализ влияния характера механической неоднородности, определяемого степенью неоднородности и геометрией прослоек, на показатели предельной несущей способности сварных соединений с мягкими прослойками.

Предельная несущая способность зависит от состояния материала. При вязком состоянии материала она, как правило, ограничивается пределом текучести материала, однако в некоторых случаях для ее оценки используют другие механические свойства. При хрупком и квазихрупком состоянии ее характеризует величина удельной работы разрушения, которую можно определить по результатам испытаний стандартных образцов на растяжение или на ударный изгиб. В рамках настоящего эксперимента в качестве характеристик предельной несущей способности определяли предел текучести, предел прочности, относительное удлинение и удельную работу разрушения A (энергоемкость разрушения). Величину последней рассчитывали как отношение площади под диаграммой растяжения к объему образца (с учетом поправочного коэффициента).

Экспериментальная часть работы заключалась в проведении испытаний на разрыв сварных образцов, в ходе которых определяли вышеперечисленные механические свойства сварных соединений в целом, металлов мягкой и твердой прослоек. Для количественной характеристики геометрии сварных соединений использовали относительную толщину

прослойк $\chi = F_{\text{просл}}/s^2$ ($F_{\text{просл}}$ - площадь прослойки, s – толщина листа). Степень механической неоднородности сварных соединений характеризовали величиной S_{σ} , равной отношению предела прочности металла твердой прослойки $\sigma_{\text{в}}^{\text{T}}$ (для исследуемых сварных соединений в роли твердой прослойки выступает основной металл) к пределу прочности мягкой прослойки $\sigma_{\text{в}}^{\text{М}}$. Для эксперимента использовали сварные образцы из низколегированных сталей повышенной прочности классов X65 и X75 со степенью механической неоднородности 1,25; 1,3 и 1,4 с мягкими прослойками относительной толщиной 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1,0. Величины эти варьировали путем изменения толщины свариваемых полос, химического состава металла шва, способов сварки и разделки кромок. Значения χ для каждой группы исследуемых образцов устанавливали в ходе проведения дюрOMETрического анализа. Замеры твердости производили в характерных точках отдельно для каждой зоны сварного соединения, измерения повторяли на десяти одинаковых образцах. Используя результаты механических испытаний, определяли коэффициенты снижения характеристик несущей способности: $K_{\sigma_{\text{в}}} = \sigma'_{\text{в}}/\sigma_{\text{в}}$; $K_{\sigma_{0,2}} = \sigma'_{0,2}/\sigma_{0,2}$; $K_{\delta} = \delta'/\delta$; $K_A = A'/A$ (где в числителе указаны значения соответствующих свойств сварных соединений, а в знаменателе – значения свойств основного металла). Установленные таким образом графические зависимости коэффициентов снижения несущей способности от степени механической неоднородности и геометрии контрольных сварных соединений представлены на рис. 1.

Полученными результатами испытаний подтверждается, что свойства сварных соединений зависят от степени механической неоднородности, а также ее топографии, характеризуемой взаимным расположением и геометрией твердых и мягких прослоек, причем с увеличением неоднородности роль χ повышается. Исключение составляет относительное сужение, изменение величины которого определяется главным образом размерами прослоек и практически не зависит от степени неоднородности. При χ менее 0,2 величины $\sigma_{\text{в}}$, δ и A практически не снижаются, уменьшается только значение ψ . Уменьшение относительного сужения в данном случае связано с тем, что возникающие вследствие неодинаковой поперечной деформации касательные напряжения, максимальные на плоскостях раздела, препятствуют поперечному сужению прослойки в направлении толщины листа (эффект контактного упрочнения) [1]. Прослойки с χ в диапазоне 0,6...0,8 оказывают наибольшее отрицательное влияние на величины δ и $\sigma_{\text{в}}$, а следовательно, и работу разрушения, снижая величину последней для случая $K_{\sigma} = 1,4$ в 1,8 раза. Также выявлено, что свойства сварных соединений не совпадают со свойствами мягкой прослойки, т. е. наличие участков металла, имеющего низкую прочность, еще не свидетельствует о том, что сварное соединение в целом обладает такими же свойствами. Взаимодействие отдельных зон протекает сложным образом, и прочность сварного соединения в целом, как правило, не совпадает с прочностью какой-либо прослойки.

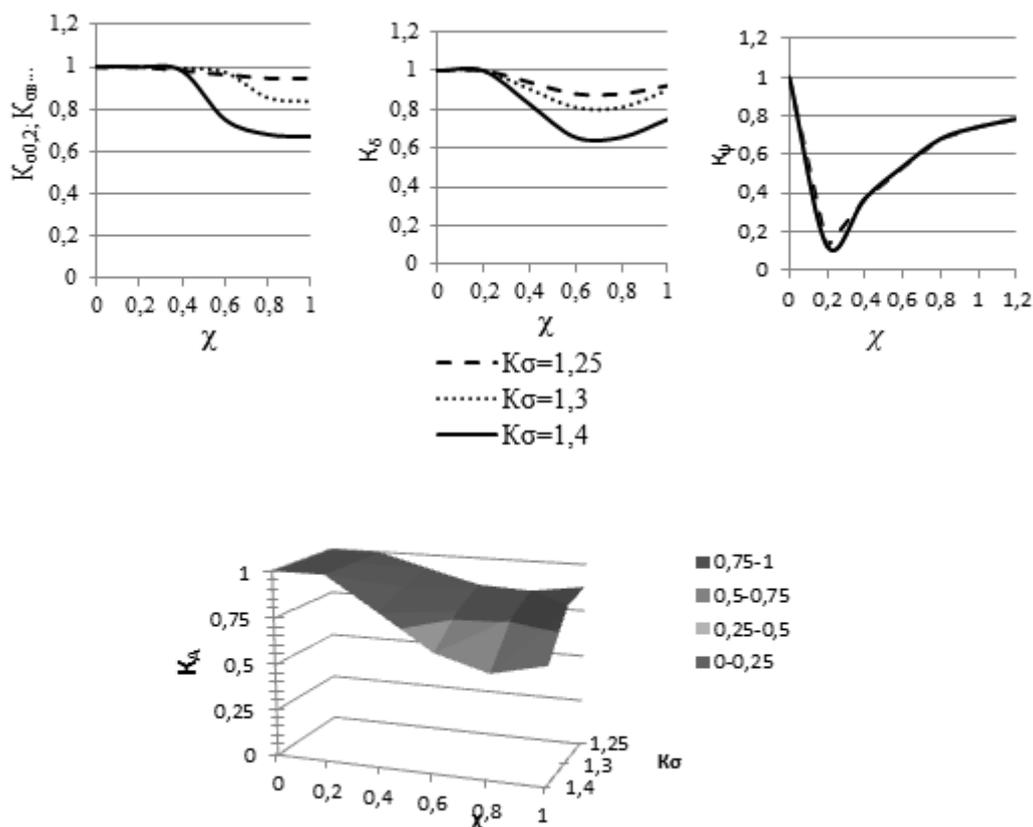


Рис. 1 – Влияние характера структурно-механической неоднородности на показатели несущей способности сварных соединений с мягкими прослойками.

Таким образом, можно заключить, что присутствие в сварных соединениях участков металла, свойства которого даже незначительно отличаются от свойств основного металла, может оказывать существенное влияние на показатели несущей способности элементов конструкции. Ввиду этого при проектировании конструкций необходимо располагать полной информацией о влиянии осуществляемых технологических воздействий на работоспособность и надежность используемого материала.

На практике важной задачей является проведение диагностики металлоконструкций методами неразрушающего контроля. Решение данной задачи, как правило, базируется на результатах анализа замеров твердости или изменения магнитных характеристик, с использованием корреляционных зависимостей основных потребительских свойств материала от измеряемой величины. Однако, использование таких зависимостей при диагностике сварных конструкций не обеспечивает необходимой достоверности ввиду показанного в данной работе несоответствия свойств материала слабых зон свойствам сварных соединений в целом. Для решения этой проблемы предложено использование зависимостей изменения характеристик предельной несущей способности сварных соединений с мягкими прослойками от характера механической неоднородности. При этом для одновременного учета относительной толщины мягких прослоек χ и степени механической неоднородности в работе предложено использовать комплексный показатель неоднородности χ_b , определяемый по формуле:

$$\chi_b = \chi (H_{ом} - H_m) / H_m,$$

где $H_{ом}$ и H_m – твердость основного металла и мягкой прослойки соответственно.

Воспользовавшись многочисленными результатами дюрометрических испытаний, рассчитали значения комплексного показателя неоднородности для каждой группы контрольных сварных соединений. Получение искомых зависимостей осуществляли

построением графиков, абсциссы которых соответствовали величинам χ_b , а ординаты - коэффициентам снижения характеристик несущей способности. Обработанные средствами Microsoft Excel графические зависимости представлены на рис.2.

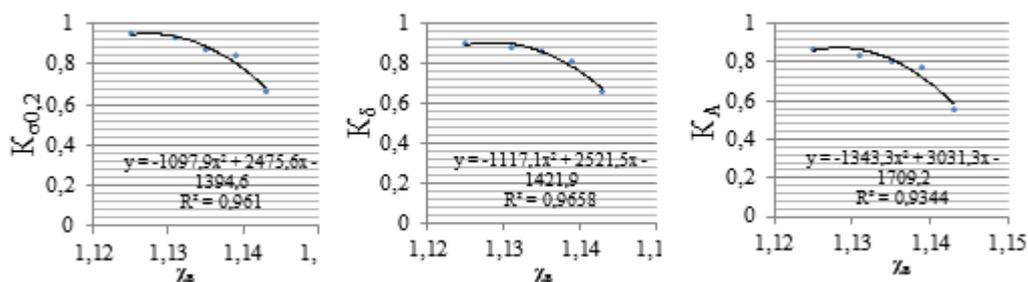


Рис.2 – Зависимости изменения показателей предельной несущей способности сварных соединений сталей повышенной прочности от характера механической неоднородности.

Использование полученных аналитических зависимостей позволяет прогнозировать эксплуатационные свойства сварных соединений на основании результатов неразрушающего контроля (замеров твердости) и таким образом производить уточненную диагностику состояния сварных металлоконструкций из сталей повышенной прочности.

Список литературы:

1. *Винокуров, В. А.* Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности [Текст]: учеб. пособие / В. А. Винокуров, С. А. Куркин, Г. А. Николаев; под ред. Б.Е. Патона. - М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.

А. С. Жив¹ д.т.н., Б. Р. Исакулов² к.т.н.

¹Владимирский государственный университет им. А.Г и Н.Г. Столетовых
Россия, г. Владимир

²Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе
mr.baizak@mail

ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА

На территории Западного Казахстана расположены главные промышленные предприятия нефтегазовой отрасли РК, комплексы по добыче и переработке хромитовых и боратовых руд, производству строительных материалов и т.д. В работе рассматриваются основы новых безотходных технологий обезвреживания и комплексного использования отходов в виде строительных материалов.

Ключевые слова: отходы, бетон, гипсохромшламовые вяжущие, арболит.

Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что широкие возможности в решении этого комплекса проблем открываются с применением цементов и бетонов из минеральных отходов промышленности и агропромышленного комплекса. Они обладают рядом физико – механических и технико – эксплуатационных характеристик, значительно превышающих аналогичные свойства многих других минеральных вяжущих и композитов на их основе.

Для их изготовления в регионах Казахстана имеются сырьевые ресурсы в виде многотоннажных отходов металлургической, химической, горнодобывающей и энергетической промышленности, а также растительные отходы сельского хозяйства. Универсальностью этих материалов является большой диапазон прочности при сжатии вяжущих от 20 до 180 МПа, бетонов от 0,5 до 150 МПа со средней плотностью 200 – 3500 кг/м³.

Перспективность применения этих материалов определяется тем, что производство их базируется на основе использовании отходов, попутных продуктов, таких, как все виды гранулированных и отвальных шлаков, золы – уноса и золошлаковых и хромшламовых смесей, а также щелочесодержащих, серусодержащих отходов и другие.

При этом следует отметить, что применение отходов производства решает одновременно экологические, топливно – энергетические проблемы и расширяет сырьевую базу строительных материалов.

Вместе с тем последнее время все большее внимание уделяется разработке технологических процессов и схем, внедрение которых позволило бы уменьшить количество промышленных отходов и обеспечить их максимальную утилизацию, в том числе в промышленности строительных материалов. Это тем более важно для тех регионов, где в избытке имеются промышленные и сельскохозяйственные отходы [5].

Для этих целей нами определены исследование свойств легких бетонов на основе легких заполнителей из местного сырья и различных отходов промышленности. Выбор связан с проблемой переработки хромосодержащего шлама Актюбинского завода хромовых соединений, которых более 3,5млн. т ежегодно поступает в отвалы завода.

Одним из способов переработки хромосодержащего шлама АЗХС является производство гипсохромшламовых вяжущих и легких арболитобетонов на их основе.

В качестве заполнителей использованы природные органические материалы растительного происхождения (измельченные тростники камыша, стебли хлопчатника и рисовая лузга) и отходы промышленности (боросодержащие и хромосодержащие шламы) и проведены их физико-механические испытания.

В вида быстротвердеющего компонента нами использован строительный гипс Чимкентского гипсового завода.

Результаты стандартных испытаний гипса: нормальная густота теста — 45%, начало схватывания — 15 мин 30 с, конец схватывания — 18 мин 30 с, остаток на сите с сеткой № 02 — 5,8%, предел прочности образцов при сжатии через 1,5 ч — 5,4 МПа, предел прочности при изгибе через 1,5 ч — 2,5 МПа.

Сухой хромосодержащий шлам из отвала АЗХС измельчен в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 0,5 м²/г (метод воздухопроницаемости) [2,3,4].

Вяжущее получено путем совместного перемешиванием строительного гипса и измельченного хромосодержащего шлама в шаровой мельнице в течение 20 мин.

Состав гипсохромшламового вяжущего состоит из 60% строительного гипса и 40% хромосодержащего шлама. Результаты испытаний смешанного вяжущего по ГОСТ 125—70: нормальная густота теста — 39%, начало схватывания — 11 мин, конец схватывания — 17 мин 30 с, предел прочности при сжатии через 1,5 ч — 2,85 МПа, предел прочности при изгибе через 1,5 ч — 1,7 МПа.

Подбор составов легких бетонов выполнен по заданной жесткости бетонной смеси. При подборе жесткость арболитовой смеси выбрана равной 10—15 с.

Бетонные смеси с такой удобоукладываемостью рекомендуется применять при изготовлении крупных блоков в горизонтальном положении с применением вибрирования и вибрирования с пригрузом.

Поэтому лабораторные образцы размером 100x100x100 мм изготовлены путем уплотнения арболитовой смеси на стандартной лабораторной виброплощадке при давлении 0,04 МПа. Содержание воды в бетонной смеси определено по принятой удобоукладываемости.

Результаты испытаний арболитобетонных образцов из различными видами органических заполнителей приведены в табл. 1.

При изучении изменения прочности во времени использовали арболитовые образцы со средней плотности 600 до 650 кг/м³. Исследования показывают, что интенсивный рост прочности наблюдается первые 28 суток, а в дальнейшем значительно медленнее.

Таблица 1

Свойства арболита на основе гипсохромшламовых вяжущих и различных заполнителях растительного происхождения.

Тип заполнителя	Средняя плотность сухого арболита, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте			
		1,5 ч	28 сут	1 год	3 года
Тростник камыша	600	0,8	1,5	1,7	1,8
	650	0,8	1,6	1,8	1,8
Стебли хлопчатника	600	0,8	1,3	1,4	1,5
	650	0,7	1,4	1,5	1,6
Рисовая лузга	600	0,7	1,1	1,3	1,4
	650	0,7	1,2	1,4	1,5

Увеличение прочности на сжатие, на наш взгляд, объясняется тем, что со временем продолжается процесс гидратации камня вяжущего.

Гипсохромошлamosодержащий раствор, поглощенный органическим наполнителем в процессе приготовления арболитовой смеси, в период твердения мигрирует в тело каркаса, вследствие чего углубляется процесс гидратации гипсохромошламового цементного камня при последующем твердении. Добавки-замедлители увеличивают продолжительность подготовительного периода при твердении вяжущего, повышают удобоукладываемость бетонной смеси и прочность арболита.

Например, введение 15% добавки в виде пиритного огарка от массы гипсохромошламового вяжущего позволило повысить прочность арболита при сжатии через 1,5 часа с 1,1 до 1,8 МПа. Через 30-60 мин после затворения прочность образцов при сжатии составляет 50-80% от 28-дневной прочности.

В таблице 2 даны предложенные нами составы и свойства гипсохромошламового арболита.

Для изучения влияния фактора времени на прочность гипсохромошламового арболита проводились испытания прочности образцов различного состава, хранившихся в воздушно-сухих условиях.

Испытания показали, что для пропаренных образцов гипсохромошламового арболита характерно интенсивное нарастание прочности в первые 5-7 суток после пропаривания, что, очевидно, связано с удалением избыточной влажности воды из образцов и увеличением жесткости органического наполнителя, а также сцепления наполнителя с камнем вяжущего.

Таблица 2.

Предлагаемые составы и свойства гипсохромошламового арболита.

Наименование показателей	Един. изм.	Величина показателей для арболита				
		В 0,75	В 1,0	В 1,5	В 2,5	В 3,5
1. Расход пуццоланового цемента марки 400	кг	250	280	300	325	350
2. Расход гипса марки 100	кг	100	100	100	110	120
3. Расход смешанных органических наполнителей (стебли тростника камыша и рис.луз.)	кг	175/65	195/65	215/65	235/70	250/75
4. Расход воды на 1м ³ смеси при сухих органических наполнителях	л/м ³	270	300	325	350	370
5. Расход хромошлама	кг	75	80	85	90	95
6. Расход комплексных добавок: - жидкое стекло; - хлористый кальций	кг/м ³	10	10	12	12	12
	кг/м ³	6	6	6	6	8
7. Плотность в высушенном состоянии	кг/м ³	400-430	450-460	500-540	540-590	590-600
8. Призменная прочность при сжатий R _{bn}	МПа	0,3	0,6	0,95	1,65	2,1
9. Модуль упругости при сжатии $\sigma = 0,3 R_{bn}$	МПа	200-250	250-400	400-650	650-1100	1000-1300
10. Водопоглощение (по массе) через 48 часов	%	95	85	75	67	45
11. Морозостойкость	цикл	5	20	35	50	75
12. Коэффициент теплопроводности	Вт/м ² К	0,05	0,065	0,085	0,10	0,135

При дальнейшем выдерживании образцов (до 12 мес.) прочность образцов повышается и это можно объяснить увеличением прочности камня вяжущего. Для образцов гипсохромошламового арболита нормального твердения характерно постепенное нарастание прочности в течение первого месяца твердения с дальнейшей стабилизацией этого показателя во времени. Прочность образцов нормального твердения существенно ниже, чем у пропаренных образцов, и с течением времени этот разрыв в прочности сохраняется.

На основе гипсохромошламового вяжущего и различных органических заполнителей растительного происхождения Казахстана и Средней Азии получены быстротвердеющие и быстротвердеющие арболиты марок 25—35 с объемной массой 550—600 кг/м³ [1].

Приведенные выше результаты определений основных технических свойств легких бетонов показывают, что их можно использовать для изготовления ограждающих и несущих конструкций - жилых и сельскохозяйственных зданий и сооружений.

Список литературы:

1. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия, М., Стройиздат, 1971.
2. Гордашевский П.Ф., Бройдо Ц.И. Разработка технологии производства борогипсовых вяжущих и изделий, — Сборник научных трудов, № 26. М., РОСНИИМС, 1963.
3. Ломовцева С.Б., Савинкова Е.И., Вильнянский Я.Е. Использование гипсовых отходов травления трансформаторной стали для получения гипсо- и ангидритошламового вяжущего. — Известия вузов, химия и химическая технология, т. 14, № 4, 1973.
4. Симановская Р.Э. Исследования в области химии и технологии воздушных вяжущих материалов, полученных из фосфогипса. — В кн: Гипс и фосфогипс. Сборник научных трудов НИУИФа, вып. 160. М., Госхимиздат, 1958.
5. Заурбеков Ш.Ш, Муртазаев С-А.Ю, Успанова А.С, Сайдумов М.С.
6. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ г. Грозного для получения строительных композитов. - Экология и промышленность России, январь 2011г.

С. М. Зраенко к.т.н.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
институт радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ
кафедра теоретических основ радиотехники
Россия, г. Екатеринбург
z_sm@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЦЕЛИ В РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

В работе представлены результаты синтеза оптимального алгоритма формирования изображения распределенной цели в радиолокаторе с синтезированной апертурой.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, распределенная цель, оптимальный алгоритм формирования изображения.

Задача обработки сигналов в радиолокаторе с синтезированной апертурой (РСА), установленном на космическом аппарате, кроме большого объема и высокого темпа поступления данных характеризуется также перемещением отклика от точечной цели по дальности за время синтезирования. Данный эффект, называемый смещением элементов дальности, обусловлен изменением расчетной орбиты, ошибками наведения антенны на цель, вращением Земли и кривизной фазового фронта отраженного сигнала. При этом процесс формирования радиолокационного изображения (РЛИ) приходится рассматривать как двумерную корреляционную задачу [1]. Дополнительным фактором, усложняющим организацию эффективной обработки сигналов в таких системах, является необходимость формирования изображения от распределенных целей при взаимном перемещении их элементов.

Для анализа данной ситуации синтезируем оптимальный алгоритм

формирования изображения от распределенной цели представив ее совокупностью хаотически перемещающихся флюктуирующих блестящих точек на диффузно отражающем фоне. С этой целью проанализируем отклик от точечного отражателя при зондирующем сигнале в виде модулированных по фазе прямоугольных импульсов длительностью τ излучаемых с периодом T_{Π} на несущей частоте ω_0 :

$$\dot{S}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A(t') \exp \{ j [\omega_0(t' + nT_{\Pi}) + \Phi(t')] \}. \quad (1)$$

Здесь $t = t' + nT_{\Pi}$, t' - время отсчитываемое от начала каждого зондирующего импульса; n - номер периода повторения, отсчитываемый от момента пролета центра интервала синтезирования; $A(t')$ – огибающая прямоугольного импульса; $\Phi(t')$ – закон внутриимпульсной модуляции, определенный на интервале $[0, \tau]$.

Сигнал, отраженный от точечной цели, расположенной на расстоянии $|R|$ от РСА ($R(t)$ в наклонной плоскости) – Рис. 1, принимается с запаздыванием на время $t \approx 2R(t)/c$:

$$g(t) = \dot{\Gamma} G_A(t) \dot{S} [t - 2R(t)/c], \quad (2)$$

где $\dot{\Gamma}$ – коэффициент, определяемый комплексным коэффициентом отражения, затуханием при распространении и т.п., $G_A(t)$ – модуляция за счет диаграммы

направленности антенны (ДНА) РСА по мощности в азимутальной плоскости, c – скорость электромагнитной волны.

Поскольку наклонная дальность до цели $R(t)$ и ДНА по мощности $G_A(t)$ являются медленно меняющимися функциями времени то они могут быть аппроксимированы как $R(nT_{\Pi})$ и $G_A(nT_{\Pi})$. При $\dot{\Gamma} = 1$, обозначив через λ длину волны зондирующего колебания, можно переходя от временных задержек к путевой и наклонной дальностям ($x = nVT_{\Pi}$ и $r = ct' / 2$) записать комплексную огибающую отраженного сигнала (импульсный отклик от точечной цели) в двумерном формате:

$$g(x, r) = G_A(x) A[r - R(x)] \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} R(x) \right] \exp \{ j \Phi [r - R(x)] \}. \quad (3)$$

В этом выражении третий сомножитель определяет закон фазовой модуляции траекторного сигнала, а сомножитель $A[r - R(x)]$ показывает, что отклик перемещается по закону смещения элементов дальности, содержащему как правило, линейную и квадратичную составляющие.

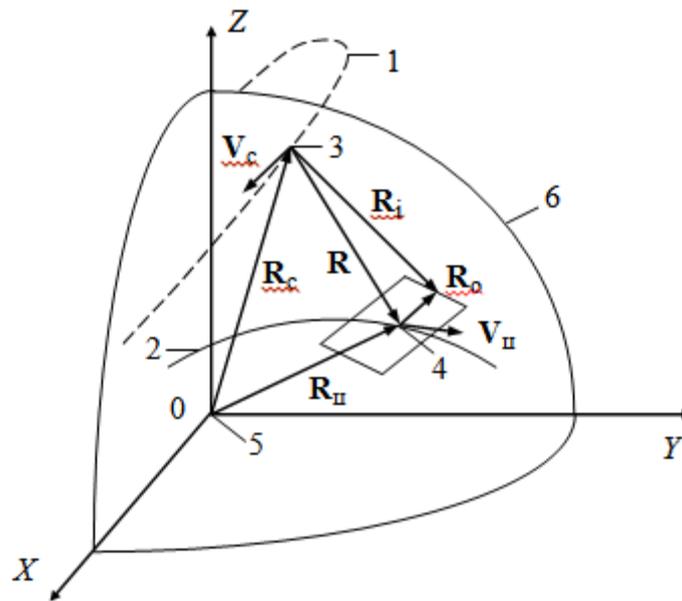


Рис. 1. Геометрия задачи ($\mathbf{R}_c, \mathbf{V}_c, \mathbf{A}_c, \mathbf{R}_{\Pi}, \mathbf{V}_{\Pi}, \mathbf{A}_{\Pi}$ – векторы положения, скорости и ускорения РСА и цели; 1 и 2 – траектории РСА и цели; 3 и 4 – их положения; 5 и 6 – центр и поверхность Земли).

Поскольку сигнал от распределенной цели содержит отражения от ограниченного числа центров рассеяния с эффективной площадью рассеяния (ЭПР) σ_i и диффузную составляющую с ЭПР $\sigma_D(x, r)$, то он может быть представлен суперпозицией откликов вида

$$\dot{U}(x, r) = \sum_i \sigma_i g(x - x_i, r - r_i) + \left[\sqrt{\sigma_D(x, r)} G_R(r) \right] \otimes g(x, r), \quad (4)$$

где $G_R(r)$ – ДНА радиолокатора в вертикальной плоскости, а через \otimes обозначена двумерная свертка.

Формирование РЛИ распределенной цели заключается в получении оптимальных оценок диффузной составляющей, а также ЭПР и координат блестящих точек цели по принятому сигналу, то есть в решении уравнения (4) с добавлением аддитивного шума в правой части. Эта задача относится к классу типичных некорректных задач [2].

Приближенным ее решением при высоком разрешении РСА является вычисление двумерной корреляции принятого сигнала и опорной функции, согласованной с откликом от точечной цели $h(x, r) = g^*(-x, -r)$. Таким образом, формирование РЛИ можно представить в следующем виде:

$$\hat{\sigma}(x, r) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} H(x - \alpha) \dot{U}_2[\alpha, r + \hat{R}(\alpha - x)] \exp \left[j \frac{4\pi}{\lambda} \hat{R}(\alpha - x) \right] d\alpha \right|. \quad (5)$$

Здесь $H(x)$ – амплитудная весовая функция для снижения уровня боковых лепестков; $\hat{R}(x)$ – оценка закона изменения наклонной дальности; $\dot{U}_2(\alpha, r)$ – результат внутрипериодной обработки считываемый из памяти по закону, определяемому смещением элементов дальности.

Проанализируем далее особенности вычисления выражения (5) в разных алгоритмах формировании РЛИ от распределенной цели (при различных режимах смены информации).

Многомерную функцию правдоподобия $\Lambda[\mathbf{Y} | \boldsymbol{\sigma}^2]$ при неизвестной априорной плотности распределения амплитуд сигналов, отраженных от элементов цели расположенной в одном канале дальности в предположении гауссовской статистики, можно представить

$$\Lambda[\mathbf{Y} | \boldsymbol{\sigma}^2] = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mathbf{Y}^{*T} \boldsymbol{\Phi}^{-1} \mathbf{Y} - \ln |\boldsymbol{\Phi}| \right\}. \quad (6)$$

Здесь $\mathbf{Y} = [Y_i]$ – вектор комплексных амплитуд отсчетов, а $|\boldsymbol{\Phi}|$ и $\boldsymbol{\Phi}^{-1}$ соответственно определитель и матрица, обратная корреляционной матрице принимаемой реализации, $\boldsymbol{\sigma}^2 = [\sigma_i^2]$ – вектор ЭПР элементов цели

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{2} \langle |A_i|^2 \rangle. \quad (7)$$

Выражение для $[Y_n]$ получим в предположении, что наблюдаемая цель

состоит из отдельных точек с комплексными амплитудами отраженного сигнала A_i и расположенных вдоль направления движения РСА в одном канале дальности. Поскольку траекторный сигнал формируется здесь как сумма составляющих, отраженных от всех точек цели, комплексная амплитуда напряжения в n -том элементе синтезированной апертуры есть

$$\dot{Y}_n = \sum_{i=1}^K A_i \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} R_{ni} \right] + \dot{N}_n, \quad (8)$$

где R_{ni} – расстояние между i -той точкой приема и n -м элементом цели; \dot{N}_n – комплексная амплитуда белого аддитивного гауссовского шума.

Корреляционную матрицу принятой реализации можно записать как

$$\boldsymbol{\Phi} = \frac{1}{2} \langle \mathbf{Y} \mathbf{Y}^{*T} \rangle = \mathbf{B} \mathbf{N} \mathbf{B}^{*T} + \boldsymbol{\Phi}_0 \quad (9)$$

где \mathbf{B} – матрица вектор-столбцов амплитудно-фазовых распределений сигналов от элементов цели:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}R_{11}} & \dots & e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}R_{1K}} \\ \vdots & & \vdots \\ e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}R_{N1}} & \dots & e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}R_{NK}} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

\mathbf{H} – диагональная матрица ЭПР отражающих точек цели, Φ_0 – корреляционная матрица собственного шума в точках приема

$$\Phi_0 = \frac{1}{2} \langle \mathbf{N} \mathbf{N}^{*T} \rangle = \sigma_{\text{ш}}^2 \mathbf{E}. \quad (11)$$

Преобразуя квадратичную форму вектора \mathbf{Y} , входящую в выражение (6) с учетом (9) получим:

$$\mathbf{Y}^{*T} \Phi^{-1} \mathbf{Y} = \mathbf{Y}^{*T} \Phi_0^{-1} \mathbf{Y} - \mathbf{Z}^{*T} \mathbf{D} \mathbf{Z}, \quad (12)$$

где

$$\mathbf{D} = (\mathbf{E} + \mathbf{H} \mathbf{B}^{*T} \Phi_0^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{H}; \quad \mathbf{Z} = \mathbf{B}^{*T} \Phi_0^{-1} \mathbf{Y}. \quad (13)$$

Таким образом, максимизация функции правдоподобия (6) может быть сведена к поиску максимума выражения

$$\max_m (\mathbf{Z}^{*T} \mathbf{D}_m \mathbf{Z}). \quad (14)$$

Указанная операция реализуется перебором всех возможных сочетаний ЭПР отражающих точек цели, т.е. подбором матрицы \mathbf{H} в выражении (13).

Таким образом, из приведенного анализа можно заключить, что выражение (14) описывает собственно операцию распознавания цели. Операция же вычисления вектора \mathbf{Z} (вычисления свертки) может интерпретироваться как операция формирования ее радиолокационного портрета для выполнения которой, как следует из (10) требуется иметь отдельные опорные функции на каждый из K (в общем случае N) элементов цели для каждой принятой реализации траекторного сигнала. Следовательно, для реализации оптимальной обработки необходима фокусирующая матрица размером $N \times N$ элементов. При этом в методах синтезирования апертуры, основанных на квазинепрерывном способе смены данных (дискретная свертка и метод кусочно-линейной аппроксимации) хотя и используется одна опорная функция, но ее перемещение в азимутальном направлении позволяет последовательно фокусироваться на все азимутальные элементы цели, подстраиваясь индивидуально под параметры движения и положения каждого из них. В этом смысле такие методы обработки как быстрая свертка, гармонический анализ, шаговое преобразование в которых используется одна азимутальная опорная функция при кадровом либо подкадровом режимах смены информации, не являются строго оптимальными.

Список литературы:

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. Под ред. В.С. Вербы. – М.: Радиотехника, 2010.– 680 с.
2. Василенко Г.М., Тараторин А.М. Восстановление изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.

**А. В. Ионов, Л. Л. Картовицкий к.т.н., Е. Ю. Марчуков д.т.н., В. В. Терентьев,
А. А. Яковлев к.т.н.**

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет) «МАИ»
НИЦ НТ при МАИ, ОАО НПО «САТУРН» НТЦ им. А. Люльки
Россия, г. Москва
cadem@mai.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ПЛОСКОЙ РЕШЕТКИ С ТЛЖТ-РЕЛЬЕФОМ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматриваются современные подходы к изготовлению лопаток плоской решетки с ТЛЖТ-рельефом поверхности для проведения экспериментальных исследований. Выбрана конструкция плоской решетки. Определены способы изготовления лопаток. Определен способ доводки полученных профилей. Отмечается перспективность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: лопатки, плоская решетка, эксперимент, технология изготовления, стереолитография, высокоточное литье.

Современный инструментарий трехмерного (3D) проектирования компрессоров позволяет получать решения в виде новых профилей лопаток для улучшения показателей эффективности проточной части путем моделирования различных газодинамических эффектов, например, вязких газодинамических эффектов при взаимодействии потока с профилем лопатки, вторичных течений газа в зазорах и т.д. Тем не менее, экспериментальная деятельность остается решающим для конечной оценки проектных решений по целому ряду причин [1]. Для проведения исследований используются плоские решетки, устанавливаемые в рабочие части аэродинамических труб.

В межлопаточном канале компрессора имеет место структурирование потока – преобразование стохастических пульсаций потока в регулярные более крупномасштабные структуры, аккумулирующие энергию пульсаций турбулентного потока в вихревых структурах. Из сказанного следует, что структурирование потока в межлопаточном канале с применением рельефной поверхности лопатки компрессора построено на процессах самоорганизации, которые порождают вторичные течения вихревой структуры, которые согласно [8] назвали ТЛЖ-структурами (Tornado Like Jets) и соответственно ТЛЖТ-рельефами (Tornado Like Jets Terrain). Самоорганизация потока выражается в его способности формироваться в вихревые структуры путем перераспределения и локализации энергии потока на основе массообменных процессов в турбулентном потоке. Это позволяет увеличить пропускную способность газодинамического канала с ТЛЖТ-рельефами относительно пропускной способности канала с гладкой (шероховатой) поверхностью стенок и расширить диапазон устойчивой работы компрессора.

ТЛЖТ - рельеф на различных решетках различается геометрическими размерами (диаметром) углублений и структурой их расположения. Для корректного экспериментального исследования, по предварительной оценке, потребуется от 5 до 20 плоских решеток, состоящих из нескольких однотипных профилей, образующих исследуемый канал.

Рассмотрим некоторые вопросы технологии изготовления профилей лопаточных машин. Технология базируется на возможностях Ресурсного центра МАИ в области

авиастроения (РЦ МАИ), оснащенного современным оборудованием для быстрого прототипирования. В частности: установка стереолитографии Viper S2i, система вакуумного литья в силиконовые формы MSP/НЕК, многоосевой вертикальный обрабатывающий центр, система лазерного сканирования.

Плоская решетка (

Рисунок а), подготовленная к проведению исследований, обычно состоит из четырех основных частей : верхней и нижней полок (поз.1 и 2), профилей лопатки (поз.3) , приемников давления. В рассматриваемой конструкции решетки имеется 7 профилей лопаток, из которых 3 профиля должны быть оснащены приемниками давления для замера параметров в двух каналах. Каждый профиль на поверхности имеет лунки определенных размеров и расположения (ТЛЖТ-рельеф, см. рисунок б).

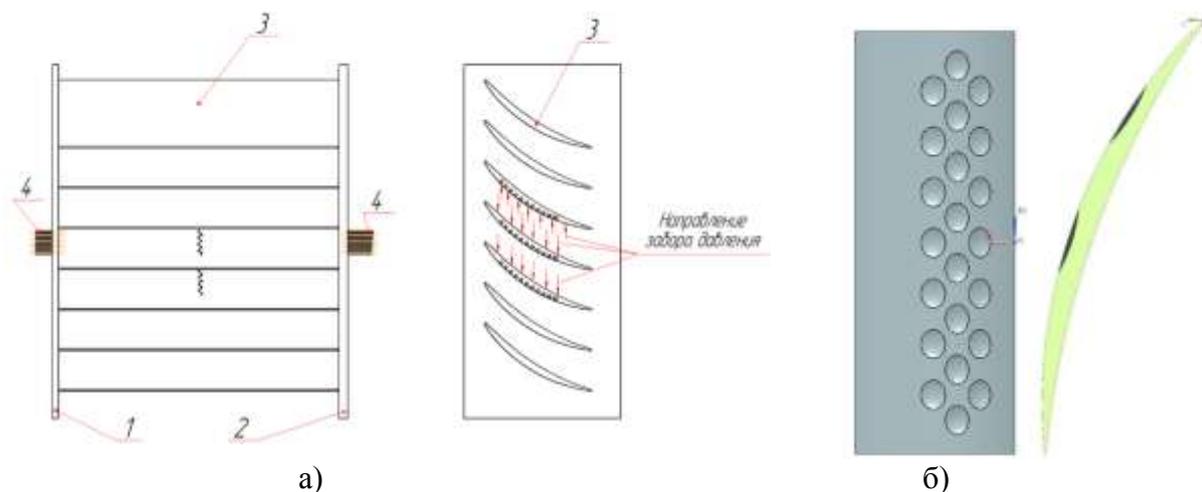


Рисунок 1. Конструкция плоской решетки и профиля лопатки.

Профили лопаток с приемниками давления изготавливаются по технологии стереолитографии (SLA), лунки закладываются в геометрию профиля перед выращиванием. Кроме этого, на планируемый эксперимент потребуется до 80 профилей лопаток без препарации (без приемников давления), отличающихся «узором» лунок. Экономически целесообразно заготовки для профилей изготовить литьем пластика в силиконовые формы. Лунки в полученных заготовках обрабатываются фрезерованием на многокоординатном обрабатывающем центре.

При выращивании деталей профилей лопаток с приемниками давления методом стереолитографии [5], по трехмерной твердотельной модели детали из САД системы формируется трехмерная поверхностная модель, которая представляет из себя аппроксимацию исходной геометрии плоскими треугольниками (триангуляция) в формате *.stl. Длина ребра треугольников регулируется при триангуляции, для профилей лопаток значение этого параметра составляет 0,001 мм. В специализированном программном обеспечении (3D Lightyear) поверхностная модель рассекается строительными плоскостями, для которых генерируется плоская траектория обхода периметра поверхностной модели в данном сечении. Шаг строительных плоскостей может быть 0,1 мм или 0,05 мм по оси Z детали. Выращивание детали происходит в ванне с фотополимером путем отверждения смолы действием ультрафиолетового лазерного пучка. Физические свойства получаемой детали зависят от свойств применяемого для выращивания детали полимера.

Одним из важных вопросов, который необходимо было решить при изготовлении лопаток это конструкция и способ изготовления приемников давления на поверхности лопатки. Приемники давления представляют из себя трубку с внешним диаметром 0,8 мм и диаметром отверстия 0,4 мм. В местах забора давления в профиле лопатки создаются

отверстия. Рассматривались несколько вариантов установки приемников давления в профиле лопатки. Детали после SLA «выращивания» имеют высокую шероховатость, которую возможно уменьшить только за счет ручной полировки наждачной бумагой и последующей покраски и лакировки, что приводит к изменению геометрических размеров (рисунок 2).

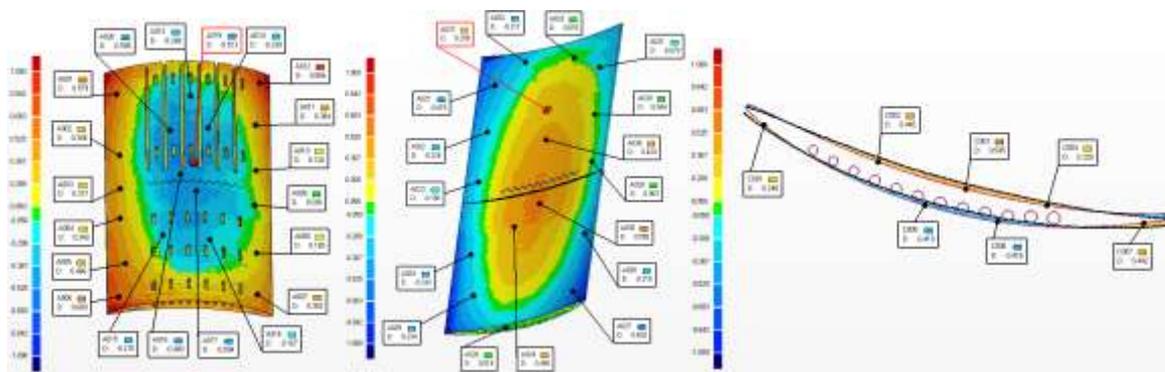


Рисунок 2 Анализ отклонений формы профиля SLA лопатки от CAD модели.

При изготовлении профилей лопаток без приемников давления возможно применение технология литья в силиконовые формы. На основе трехмерной геометрической модели профиля (без лунок) методом стериолитографии выращивается мастер-модель (рисунок 3а). При необходимости мастер-модель возможно вручную отполировать наждачной бумагой а затем покрыть краской и лаком. Это позволяет снизить шероховатость поверхности проточной части, но приводит к изменению ее геометрических размеров [6].

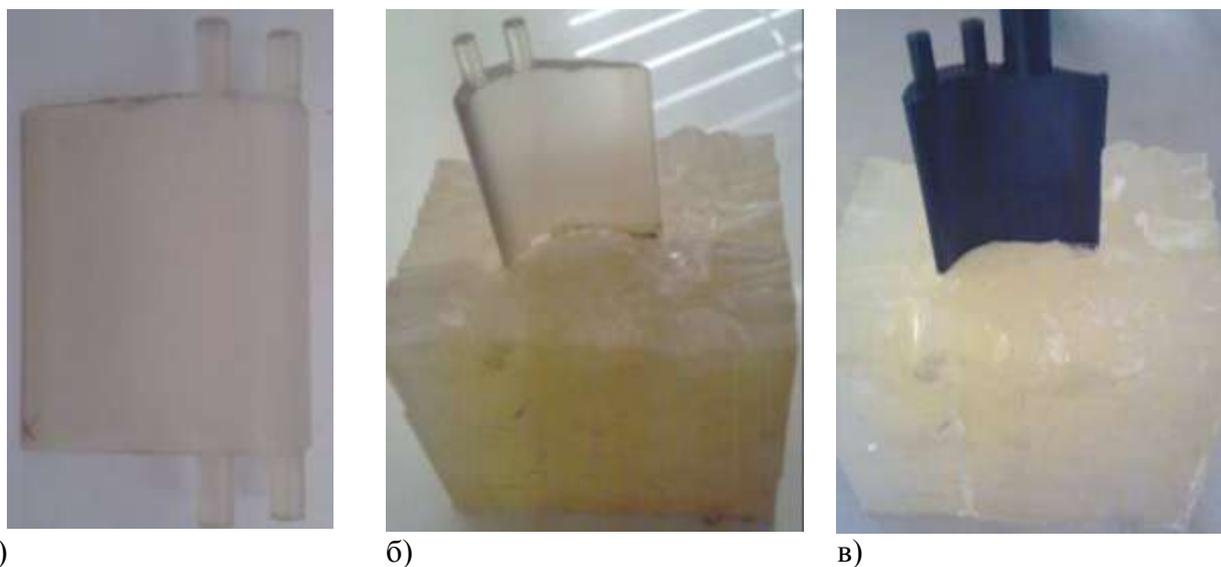


Рисунок 3 Мастер-модель профиля лопатки, силиконовая форма и пример отливки профиля лопатки.

По мастер - модели изготавливается силиконовая форма, в которой сформирован отпечаток мастер - модели. В связи с высокой текучестью, проникающей способности силикона и отсутствием геометрической усадки рельеф и размеры мастер - модели повторяются в форме с высокой точностью, а стойкость формы позволяет при простой геометрии отливки проводить около 30 заливок двухкомпонентной полиуретановой смолы (рисунок 3б). Пример отливки профиля лопатки представлен на рисунке 3в.

Далее необходимо на отлитых из полиуретана профилях изготовить лунки фрезерованием на многокоординатном обрабатывающем центре. Имеющийся прецизионный центр позволяет обеспечить идентичность геометрии профиля для всех деталей и позволяет оперативно в CAD/CAM системе менять размеры и расположение лунок на профиле. Упрощенно технологию фрезерования возможно представить как следующую цепочку:

- «подготовка обработки 3D модели профиля с лунками»;
- «установка заготовки на станке»;
- «фрезерование»;
- «метрологический контроль».

Технология и возможности оборудования обеспечивают высокую повторяемость «узора» лунок на каждой решетке. Для каждой новой решетки необходимо согласовать нулевую точку и таблицы с параметрами: координаты центра первой лунки; шаг между лунками; шаг между рядами лунок; диаметр лунки; глубина лунки (полагаем, что форма лунок – сферическая и они расположены по нормали к поверхности лопаток).

Установка заготовки предполагает использование прижимов, которые могут деформировать пластик лопатки в том числе в ответственных зонах – например, в зоне проточной части или в зоне замка. Так как высокоточным литьем в силиконовые формы предполагается получать готовую лопатку с замковой частью, то необходимо совместно с конструктором прорабатывать возможные места закрепления или проработать приливы для прижимов с дальнейшими операциями по их отрезанию. Форма приливов должна обеспечивать высокоточный установ заготовки и повторяемость этого установка на каждой последующей заготовке.

Метрологический контроль ведется с использованием мобильной сканирующей установки MobilMaker – семишарнирной руки с лазерной сканирующей головкой. Заявленная точность головки которой – 0.035мм. Полученные облака точек возможно сравнивать как между собой, так и с конструкторской САД моделью.

Общее время изготовления первой решетки по данной технологии – менее двух календарных недель. Время цикла по изготовлению плоской решетки, включая сборку решетки с новым узором, может составить до 3-4 рабочих дней. Возможно уверенно говорить, что другими производственными технологиями невозможно подготовить к испытаниям модели. Необходимо отметить важный методический и образовательный аспект: к работам активно привлекаются аспиранты и студенты МАИ, на практике изучающие современные технологии производства.

Приведенные в статье шаги по изготовлению проточной части решетки могут потребовать существенного пересмотра в случаях конструкторских решений для решетки в целом, например, для обеспечения визуализации потока теньным методом, Так же необходимо проработать всю технологию, включая сборку, для плоской решетки, например, для случая отсечения пограничного слоя. Кроме этого необходимо уточнить ориентировочные сроки жизни получаемых деталей для определения технологического цикла изготовления, так как технология производства плоской решетки в целом может зависеть и от ответов на эти вопросы, так например:

фотополимер под воздействием солнечного света может деформироваться и менять прочностные свойства, в то время, как грунтовка и покраска детали повлечет за собой изменение геометрии профиля;

ориентировочное количество отливок в одну силиконовую форму без существенных деформаций – до 25 циклов, но возможно изготовить форму на несколько лопаток одновременно;

типовые условия хранения силиконовой формы до появления деформаций – полгода при +40 градусов Цельсия.

В заключение можно отметить что осевые компрессоры достигли существенно высокого уровня развития и эффективности, но тем не менее, развитие методов

проектирования профилей позволяет находить пути совершенствования аэродинамических характеристик. Для правильного дизайна компрессоров многоцелевая и многокритериальная оптимизация претендуют на строгие и надежные процедуры, которые помогут конструктору максимально использовать его практический опыт. Усовершенствованная технология на основе оптимизации может быть использована на всех этапах проектирования.

Список литературы:

1. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров. Пер. с англ. М., «Мир». 2000.
2. Холщевников К. В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. Машиностроение. М.: 1970.
3. С.М. Fonseca and P.J. Fleming. Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms - part II: Application example. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 28(1):38-47, 1998.
4. Н.-Р. Schwefel. *Evolution and Optimum Seeking*. John Wiley & sons, New York, 1995.
5. 3D System Inc, Справочное руководство по использованию оборудования стереолитографических машин SLA, p/n 23700-M57-00.
6. Монахова В.П., Терентьев В.В., Яковлев А.А. Проектирование узлов ГТД при возможности использования стереолитографии для получения модельных образцов // Вестник УГАТУ. 2010. Т14. №3(38) С.144-150.
7. Wilcox D.C. *Turbulence Modeling for CFD*. California; 1994.

Б. Р. Исакулов к.т.н.

Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе
mr.baizak@mail

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ

В работе использованы методы получения шлакощелочных вяжущих из отходов промышленности Казахстана и Средней Азии для получения легких бетонов.

Ключевые слова: шлакощелочное вяжущее, зола-унос, содосульфатная смесь, электротермофосфорный шлак.

Для установления возможности создания шлакощелочных вяжущих на основе золы-уноса нами рассматривались основные физико-химические процессы взаимодействия, и фазовый состав образующихся при этом продуктов.

Основываясь на результатах проведенных исследований о том, что активность и скорость набора прочности в безобжиговых щелочных композициях поддаются регулированию за счет изменения основности алюмосиликатного и щелочного компонента, а также за счет введения добавок.

Для изучения композиции на основе золы-уноса Актюбинской ТЭЦ экспериментальные работы проводились в 28-суточном возрасте после тепловлажностной обработки.

Нами установлено, что композиции на основе золы-уноса обладают вяжущими свойствами, а фазовый состав продуктов твердения определяет характер этих свойств. В дальнейшем проведено изучение новообразований, возникающих при гидратации разработанного вяжущего в присутствии высокоосновной добавки.

Экспериментальные данные, полученные в результате изучения комплексными методами физико-химических исследований продуктов, взаимодействия вяжущих композиций на основе высококальциевой золы – уноса показали, что их фазовый состав определяется видом щелочного компонента и добавки.

При изучении влияния плотности щелочного компонента на прочность камня вяжущего использовали жидкое стекло с разными силикатными модулями (Мс).

По данным исследования ряда авторов [1, 2, 5], вяжущие композиции на основе золы – уноса и щелочных компонентов, таких как Na_2SO_4 и Na_2CO_3 не твердеют в нормальных условиях и при пропаривании. Это также подтверждено и нашими исследованиями.

Показано (рис. 1), что при сжатии камня вяжущего, при затворении золы – уноса с силикатным щелочным компонентом, раствор зависит от плотности и силикатного модуля последних. Увеличение плотности раствора щелочного компонента и соответственно концентрация его повышается и это приводит к увеличению прочности камня вяжущего. При плотности раствора щелочного компонента 1100 кг/см^3 прочность камня вяжущего составляет 16,5, 26,7 и 23,0 МПа, соответственно для растворов силиката натрия с Мс – 3,2 и 1. Увеличение плотности раствора щелочного компонента с 1100 до 1300 кг/см^3 привело к повышению прочности камня вяжущего в 1,7 – 2 раза и соответственно в зависимости от модуля стекла составила 30,5; 46,9; 46,1 МПа. При снижении силикатного модуля жидкого стекла до 2 прирост прочности составляет до 1,5 раз, чем при аналогичных плотностях раствора. Но при снижении Мс до 1 прирост прочности по сравнению с составами на дисиликате натрия не наблюдается.

Необходимо отметить, что вышеуказанные составы вяжущего являются быстросхватывающимися. На высокомодульном жидком стекле схватывание происходит мгновенно, т.е. его трудно определить. Необходимо также отметить, что во всех случаях щелочерастворозольное отношение, составило – 0,38.

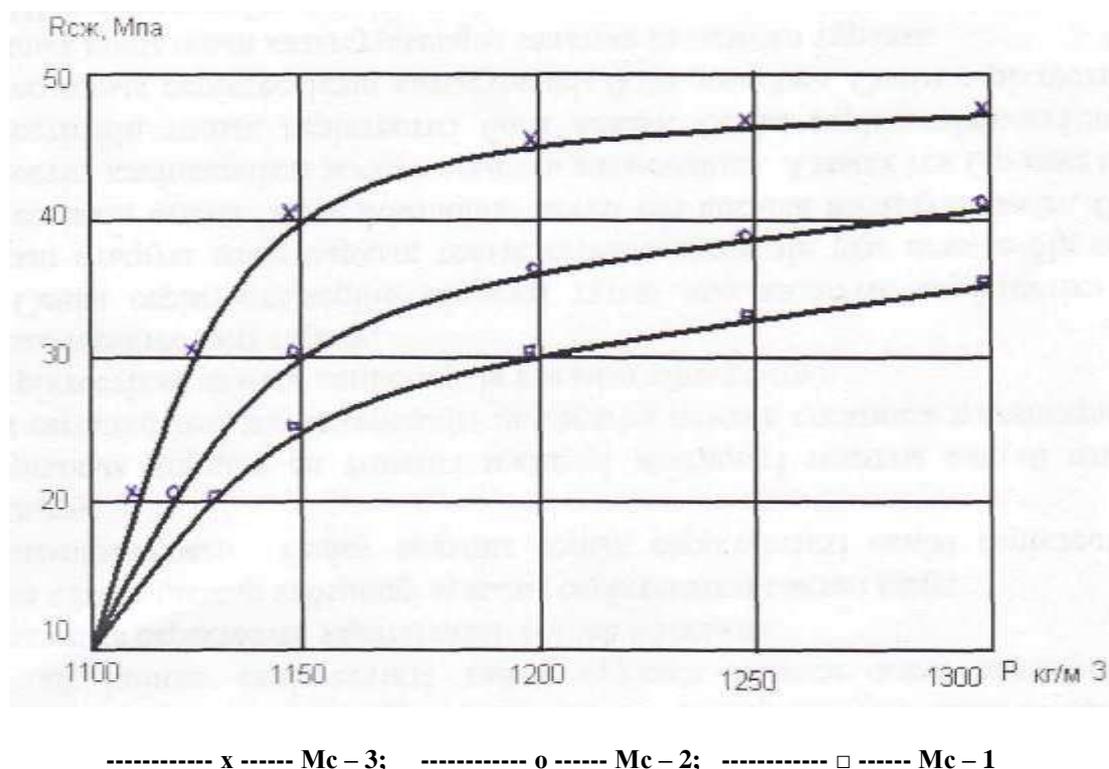


Рис. 1 Влияние плотности раствора щелочного компонента на прочность.

Полученные данные влияют на физико – механические характеристики вяжущего. Силикатный модуль жидких стекол и плотность растворов на их основе показывают, что по мере понижения Мс до 1, сроки схватывания несколько растягиваются.

На наш взгляд, это вызвано большей устойчивостью жидких стекол с более низким силикатным модулем, обладающим более высоким зарядом на поверхности частиц против коагулирующего воздействия ионов Са золы. Кроме того, с уменьшением Мс стекл концентрация SiO анионов снижается.

Таким образом, анализируя результаты вышеприведенных исследований, можно сделать предварительный вывод о большей предпочтительности щелочных систем на основе силикатных щелочных солей, обладающих более высокими потенциальными возможностями перед несиликатными щелочными солями типа Na₂SO₄ и Na₂CO₃. С целью регулирования сроками схватывания вяжущих композиций нами использовался красный каустик, содержащий до 14% NaOH. Красный каустик добавляли в жидкое стекло в виде водного раствора с плотностью 150 и 1300 кг/м.

Установлена тенденция (рис. 2) увеличения сроков схватывания вяжущего по мере повышения содержания красного каустика в объеме щелочного компонента. При затворении золы водным раствором красного каустика начало схватывания наступает через 3 ч, а конец через 9 ч.

Приведенные наши результаты подтверждают и согласуются с данными исследования [3, 4], что безобжиговые щелочные вяжущие на основе золы – уноса имеют короткие сроки схватывания на всех видах заполнителей, кроме NaOH.

Необходимо также отметить, что применение красного каустика в составе щелочного компонента хотя и позволило определить эффект по регулированию сроков схватывания, но положительных результатов на изменение прочности при сжатии камня вяжущего не дало. С повышением концентрации красного каустика в щелочном компоненте прочность понижается (рис. 2).

На наш взгляд, это объясняется с тем, что красный каустик кроме NaOH имеет много различных примесей, препятствующих протеканию вяжущего. Известно, что управлять процессами структурообразования шлакощелочных вяжущих можно путем выбора щелочного компонента с регулируемой скоростью диссоциации, зависящей от его природы.

Управлять процессами структурообразованиями шлакощелочных вяжущих систем можно путем выбора щелочного компонента с регулируемой скоростью диссоциации, зависящей от его температурных условий, pH дисперсной среды. Исследованиями также показано, что введение в состав шлакощелочных вяжущих систем на основе шлаков с $1 < M_0 < 1$ низкомолекулярного жидкого стекла, солей Na_2SO_4 , NaCl способствует повышению скорости набора прочности в ранние сроки твердения и конечную активность.

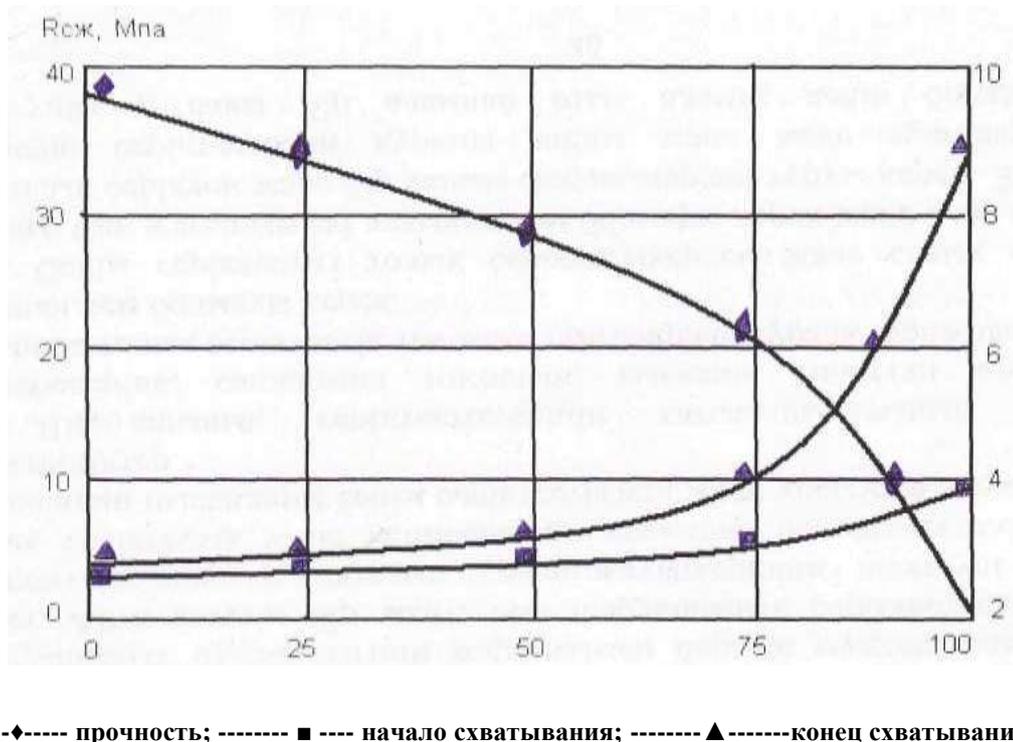


Рис.2. Влияние соотношения красного каустика на прочность и сроки схватывание вяжущего.

Основываясь на этом, нами использована содосульфатная смесь, которая применялась в виде водного раствора с плотностью 1200 кг/м^3 , которую добавляли в жидкое стекло с $M_c = 3$. Содосульфатную смесь на прочность вяжущего камня рассматривали также в вяжущей системе на основе электротермофосфорного шлака. Введение в качестве добавки содосульфатной смеси, видимо, в силу своего химического состава значительно углубляет гидратацию шлакового стекла, а также способствует образованию волокнистых гидросульфатоалюминатов кальция, выполняющих роль дополнительной арматуры и уплотняющих структуру цементного камня. Наряду с тепловлажностной обработкой образцы параллельно подвергались тепловой обработке. Во избежание интенсивного испарения влаги формы с образцами плотно закрывались.

Результаты показали, что при тепловой обработке, когда в состав компонента вводили содосульфатную смесь, предел прочности образцов на сжатие на 7 – 22% выше, чем у образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке. С увеличением количества содосульфатной смеси в составе щелочного компонента до 75% по объему приводит к повышению прочности камня вяжущего.

Так, прочность камня вяжущего чисто на жидком стекле составляет 31,1 и 38,3 МПа соответственно для образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке и тепловой обработке. Прочность образцов, содосульфатной смесью 75% соответственно составила 44,5 и 47,5 МПа. Но дальнейшее увеличение количества содосульфатной смеси приводит к резкому снижению прочности. Содосульфатная смесь также положительно влияет на сроки схватывания вяжущего. При оптимальном соотношении содосульфатной смеси к жидкому стеклу (75:25) сроки схватывания удлиняются почти в 7 раз по сравнению с контрольным.

Таким образом, установлено, что применение содосульфатной смеси в шлакощелочных вяжущих, на основе электротермофосфорного шлака, приводит к увеличению прочности до 45%. Кроме того, введение содосульфатной смеси в состав вяжущего приводит к значительному снижению стоимости вяжущего за счет экономии дефицитного промышленного жидкого стекла.

Список литературы:

1. Бисенов К. А., Касимов И. К., Тулаганов А. А., Удербает С. С. Легкие бетоны на основе безобжиговых цементов: Монография. Алма-Ата., 2005.
2. Глуховский ВД. Грунтосиликаты, их свойства, технология изготовления и области применения: Автореф. дис. ... докт. тех. наук. Киев, 1965. 41 с.
3. Касимов И.К., Тулаганов А.А., Камиллов Х.Х., Косимов О.Б. Состав, свойства и технология шлакощелочного арболита на основе сельскохозяйственных отходов// Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции. Тез. докл. 3-й Всесоюз. науч-но-практ. конф. В 2-х т. Киев: КИСИ, 1989. Т. 2. С. 152-153.
4. Крылов Б.А., Ли А.И. О воздействии электрического тока на твердение бетонов // Бетон и железобетон. 1992. №2. С. 7-9.
5. Христофоров А.И. Нанокерамика: Учебное пособие. Владимир: (ВлГУ). 2007-115 с.

С. В. Князев

Самарский государственный технический университет, электротехнический факультет
кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»
Россия, г. Самара
sknyaz86@mail.ru

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТАНОВОК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ЛИНИИ РАСКАТКИ ПОДШИПНИКОВЫХ КОЛЕЦ

В работе рассматривается проблема оптимизации работы индукционной нагревательной установки в стационарных и переходных режимах при произвольных начальных условиях. Показано, что в переходных режимах работы индукционного нагревателя с переменными параметрами оптимальный алгоритм управления, обеспечивающий в выходном сечении минимальное отклонение температуры от заданного значения при минимальном значении функционала качества, представляет собой кусочно– постоянную функцию, асимптотически приближающуюся к установившемуся значению.

Ключевые слова: проблема оптимизации, индукционный нагрев, оптимальный алгоритм управления.

Создание эффективных систем автоматического управления процессом непрерывного нагрева перед обработкой металла давлением является необходимым условием получения высококачественных изделий. Проблема снижения энергозатрат таких энергоемких потребителей, какими являются индукционные нагреватели, в современных условиях дефицита энергии представляется одной из актуальных проблем, решение которой обеспечит экономическую и экологическую целесообразность применения индукционного нагрева. Эффективность применения индукционного нагрева можно повысить только на основе комплексного подхода, включающего несколько направлений: снижение суммарных тепловых и электрических потерь в процессе нагрева за счет выбора оптимальных конструктивных параметров индуктора; уменьшение энергозатрат на нагрев заготовок в нестационарных режимах работы нагревательного комплекса при отработке глубоких возмущений в переходных режимах работы установки; снижение электрических потерь за счет внедрения комплексной системы регулирования, включающей систему оптимального управления в нестационарных режимах работы, систему автоматической компенсации реактивной мощности индуктора и систему оптимальной стабилизации температуры в установившемся режиме работы.

В ряде широко распространенных технологических процессов горячей обработки металла, таких, как, например, раскатка и калибровка подшипниковых колец, штамповка клапанов для двигателей внутреннего сгорания и др., перепад температур между центром и поверхностью нагреваемой заготовки в процессе нагрева не достигает предельно допустимых значений при любых реальных значениях скорости перемещения заготовок и мощности нагрева. В этом случае динамика процесса индукционного нагрева как объекта управления с достаточно высокой степенью достоверности характеризуется одной лишь средней по сечению температурой изделия, что позволяет весь последующий анализ и синтез алгоритмов управления для рассматриваемого класса объектов выполнить на базе математической модели непрерывного нагрева теплотехнически тонкого тела.

В [1] получены оптимальные алгоритмы управления нестационарными режимами работы индукционного нагревателя непрерывного действия при пуске в предположении постоянства распределения удельной мощности нагрева по длине нагреваемого изделия. Это допущение справедливо при нагреве немагнитных изделий или при низкотемпературном нагреве ферромагнитных сталей в длинном индукторе.

Однако, в действительности процесс непрерывного индукционного нагрева магнитных сталей до температур, превышающих точку Кюри, в однозонном нагревателе характеризуется неравномерным распределением мощности внутренних источников тепла по длине нагревателя, обусловленном изменением электрических параметров загрузки в функции температуры металла. В общем случае процесс индукционного нагрева стальных изделий описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений Максвелла для электромагнитного поля и уравнения теплопроводности Фурье [2]. Решение этой системы может быть получено только численными методами для каждой конкретной реализации процесса.

Для аналитического решения задачи процесс нагрева делят на температурные интервалы, в каждом из которых физические свойства принимают постоянными. Ступенчатая аппроксимация температурной зависимости свойств стали позволяет отдельно решать электромагнитную и тепловую задачи. В [3] дана методика расчета электрических и тепловых параметров нагревателей периодического и методического действия. Целью этих расчетов является определение параметров нагревателя, причем, при расчете нагревателей непрерывного действия принимается во внимание установившийся режим работы, когда границы участков постоянства физических свойств стали строго фиксированы. В этом случае по известным зависимостям определяются удельные мощности в горячем, промежуточном и холодном режимах, длины соответствующих участков и электрические параметры индуктора.

В нестационарных режимах работы нагревателей методического действия (пуск нагревателя, смена производительности, смена номенклатуры), происходит непрерывное изменение температурного распределения в металле по длине нагревателя, а, следовательно, и электрических параметров системы "индуктор-металл". Это приводит к существенному изменению границ холодного, промежуточного и горячего участков в процессе выхода нагревателя на установившейся режим работы и соотношения удельных мощностей нагрева.

При указанных обстоятельствах поиск оптимального алгоритма управления переходными режимами работы является задачей существенно нелинейной, допускающей только численные методы расчета квазиоптимального управления для случая пуска нагревателя. При разработке метода были использованы результаты, полученные в работах [2, 3] при расчете индукционных нагревателей различных типов для сквозного нагрева цилиндрических заготовок.

Разработанная методика используется для определения программы изменения напряжения на индукторе из условия выполнения основного технологического требования $T_{max}(L,t)=T_{зад}(L)$. Расчет ведется для ферромагнитной загрузки в виде кольцевых заготовок, однако, предлагаемая методика может быть использована и для поиска оптимального алгоритма управления нагревом сплошных ферромагнитных цилиндрических тел.

Анализ выполненных авторами расчетов стационарных режимов нагрева заготовок подшипниковых колец до температур пластической деформации показывает, что доля «промежуточного» режима составляет менее 5% от общей длины нагревателя, что позволяет с допустимой погрешностью пренебречь длиной участка с фазовыми превращениями и учитывать далее только два состояния – «холодное» и «горячее». В этом случае процесс непрерывного нагрева кольцевых ферромагнитных заготовок внутренними источниками тепла описывается уравнением

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = -v(t) \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} + \kappa P(t) F(x) - \beta T(x,t) \quad (1)$$

с начальным и граничным условиями вида

$$\begin{cases} T(0, x) = T_0(x) \\ T(t, 0) = 0 \end{cases}$$

где $F(x) = F_1(x)[1 - 1(x - x_1)] + F_2(x) \cdot 1(x - x_1)$, $F_1(x)$ и $F_2(x)$ - функции распределения мощности теплоисточников по длине нагревателя для холодного и горячего режимов соответственно, вырождающиеся для рассматриваемого случая в постоянные величины; x_1 - координата точки магнитных превращений, $v(t)$ - скорость передвижения заготовок через индуктор.

В установившемся режиме работы нагревательной установки температурное распределение по длине нагревателя принимает вид:

$$T(x) = \begin{cases} \frac{\kappa P_1}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \frac{x}{v}} \right), \quad \forall x \in [0, x_1] \\ \frac{\kappa P_1}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \frac{x_1}{v}} \right) e^{-\beta \frac{x - x_1}{v}} + \frac{\kappa P_2}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \frac{x - x_1}{v}} \right), \quad \forall x \in [x_1, L] \end{cases}$$

Здесь P_1 и P_2 - мощности соответствующих режимов нагрева.

Отключение нагревателя на время останова деформирующего оборудования приводит к охлаждению металла, находящегося в индукторе, в результате чего температурное распределение $T(x, t_0)$ к моменту t_0 пуска нагревателя запишется в виде

$$T(x, t_0) = \begin{cases} \frac{\kappa P_1}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \frac{x}{v}} \right) e^{-\beta t_0}, \quad \forall x \in [0, x_1] \\ \left[\frac{\kappa P_1}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \frac{x_1}{v}} \right) e^{-\beta \frac{x - x_1}{v}} + \frac{\kappa P_2}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \frac{x - x_1}{v}} \right) \right] e^{-\beta t_0}, \quad \forall x \in [x_1, L] \end{cases}$$

Очевидно, температура металла на выходе из нагревателя в результате охлаждения за время t_0 окажется ниже заданной. Существенно изменится по сравнению с установившейся также и координата точки Кюри, вследствие чего произойдет перераспределение уровней мощностей $P_1(t_0)$ и $P_2(t_0)$ холодного и горячего режимов нагрева в момент включения нагревателя.

Для расчета оптимальной программы изменения напряжения на индукторе в процессе пуска в условиях непрерывного изменения параметров загрузки производится дискретизация процесса по времени и координате x . С этой целью индуктор разбивается на n участков по длине и оптимальное управление ищется в виде кусочно - постоянной функции с длительностью интервала постоянства $\Delta t = \frac{L}{nv}$.

При дискретной выдаче заготовок число участков дискретизации равно числу заготовок в индукторе. При непрерывном нагреве время работы нагревателя превышает время, в течение которого каждое сечение нагреваемого металла проходит через индуктор. В силу этого обстоятельства длительность оптимального управления также превышает время $T = \frac{L}{v}$. Процесс нагрева в этом случае может быть представлен системой N уравнения вида

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \kappa P_i(t) - \beta T_i(t) \quad (2)$$

Здесь P_i - управление для i - того сечения с температурой θ_i до момента выхода его из индуктора; $i = 1, 2, \dots, N$, где, $N = \frac{t}{\Delta t}$, t - время выхода нагревателя на установившийся режим работы.

Мощность P_i можно представить в виде ступенчатой функции, которая равна 0 для каждого рассматриваемого сечения до момента его вхождения в индуктор, т.е.

$$P_i(t) = \begin{cases} P(t), & \forall t \in [0, \Delta t i] & \text{если } i \in [1, n] \\ 0, & \forall t \in [\Delta t i; \Delta t N] & i = 1, 2, \dots, N. \\ \left. \begin{array}{l} 0, & \forall t \in [0, \Delta t(i-n)] \\ P(t), & \forall t \in [\Delta t(i-n), \Delta t i] \end{array} \right\} & \text{если } i \in [n, N] \end{cases}$$

Так как целью управления является обеспечение заданной температуры $T_{зад}(L)$ металла на выходе из нагревателя, поиск оптимального управления сводится к определению на каждом шаге такого управляющего воздействия, при котором i -ое сечение металла, находящееся на выходе из индуктора и имеющее начальную температуру $T_i^{(i-1)}$ за время $\Delta t i$ - того шага управления, достигнет заданного значения.

Это управление может быть получено из уравнения (1) при известных начальных условиях, которые определяются из решения системы $i-1$ уравнений вида (2) при известных управлениях P_i на $i-1$ – ых предыдущих интервалах

$$P_i(t) = \frac{\beta [T_{зад}(L) - T_{i-1} e^{-\beta \Delta t}]}{K [1 - \exp(-\beta \Delta t)]}$$

Используя, далее, известную [4] методику, находим электрические параметры индуктора и требуемое для обеспечения найденного $P_i(t)$ напряжение на индукторе. Затем, определив по известным параметрам "холодного" участка загрузки удельную мощность нагрева для него, находим температурное распределение в металле по длине индуктора и новую координату границы "холодного" и "горячего" участков загрузки. После этого делается следующий шаг для расчета удельной мощности для $i+1$ –го участка, находящегося на выходе из индуктора, и напряжения на индукторе.

В случае, если система выходит на ограничение по напряжению, условие поддержания заданной удельной мощности на "горячем" участке загрузки уже не выполняется. Это приводит к уменьшению напряженности H магнитного поля индуктора и, следовательно, к изменению магнитной проницаемости μ металла. Для определения величины магнитной проницаемости μ при движении по ограничению организуется итерационная процедура расчета μ , заключающаяся в следующем. По заданному значению μ определяются параметры "холодного" участка и эквивалентное сопротивление $Z_э$ индуктора при известных электрических параметрах "горячего" участка и собственного сопротивления индуктора. По найденному $Z_э$ определяются ток J и напряженность H магнитного поля, на основании которой производится уточнение μ , r_x , $x_{\mu x}$, $Z_{э\kappa\beta}$ до тех пор, пока разность между последующим и предыдущим значениями μ не уменьшится до заданного значения $\Delta\mu=0,1$; после этого производится уточненный расчет удельных мощностей холодного P_x и горячего P_r участков индуктора, на основании которых осуществляется дальнейший тепловой расчет.

Для реализации оптимальных алгоритмов управления индукционными нагревательными установками непрерывного действия синтезирована комплексная система автоматической оптимизации, включающая индивидуальные регуляторы напряжения, блок оптимизации регулируемого параметра, датчики температуры изделия, контур регулирования коэффициента мощности, блок логики, осуществляющий автоматический выбор коэффициентов линий переключения фазовой траектории, квадранта движения изображающей точки системы и соответствующего контура регулирования.

При централизованном питании индукционных нагревательных установок повышенной частоты обычно применяемые системы стабилизации напряжения на сборных шинах не позволяют обеспечить качественный нагрев при значительных вариациях параметров системы «индуктор – металл» или при изменениях режима работы установки, связанных с

технологическими особенностями производства. Для автоматического управления каждой нагревательной установкой в этом случае необходим индивидуальный регулятор напряжения, который в комплексе с регулятором коэффициента мощности позволяет осуществлять в широком диапазоне регулирование и стабилизацию электрического и теплового режимов. Индивидуальный регулятор напряжения, разработанный по оригинальной схеме [5], предназначен для регулирования режимов работы индукционных нагревательных установок мощностью до 250 кВт на частотах 500÷10000 Гц.

На основании полученных расчетов определена оптимальная конструкция индуктора в виде индуктора для «обычного» нагрева с постоянным шагом витков индуктирующей катушки в том случае, если не достигается ограничение на максимальную температуру, или в виде индукторов «ускоренного» нагрева с переменным шагом витков индуктирующей катушки при достижении ограничения на температуру. Расчеты показывают, что одновременно с уменьшением длины индуктора на 12–15 % по сравнению с традиционной методикой расчета уменьшаются удельные тепловые потери за счет уменьшения длины «горячего» участка, в результате чего общий к.п.д. установки повышается на 8–12%.

Список литературы:

1. Данилушкин А.И., Плишивцева Ю.Э. Оптимизация переходных режимов работы объектов технологической теплофизики с дискретно–распределенными управляющими воздействиями. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды пятой международной конференции / Под ред.: академика В.П. Мясникова, академика Н.А.Кузнецова, профессора В.А. Виттиха.– Самара, Самарский научный центр РАН, 2003. – с. 155–162.

2. Данилушкин А.И., Синдяков Л.В. Регулируемый преобразователь переменного напряжения в переменное. А.с. СССР №1339819. Заявл. №4014208/24-07 от 31.01.86. Оpubл.Б.И. № 35, 23.09.87.

3. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

4. Павлов Н.А. Инженерные тепловые расчеты индукционных нагревателей. М.–Л.: Энергия, 1978. – 120 с.

5. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева машиностроительных деталей. Л.: Энергия, 1975. – 183 с.

А. В. Колесников

Московский государственный строительный университет
Институт фундаментального образования, кафедра сопротивления материалов
Россия, г. Москва
heallex@yandex.ru

РАСЧЕТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ

Автор рассматривает вопросы учета физической нелинейности в работе конструкций при сейсмических воздействиях. На конкретных примерах показывается актуальность такого рода исследований и пересмотра действующих норм проектирования в сейсмически опасных районах.

Ключевые слова: сейсмостойкость, землетрясения, расчет, нелинейность, акселерограмма, здание, динамика, масса, диссипация, жесткость, деформация, численные методы.

Во время землетрясения здания и сооружения получают повреждения. Даже при сравнительно слабых землетрясениях в сооружении неизбежно возникают трещины, т.е. при динамических воздействиях типа сейсмических здание необходимо рассчитывать с учетом развития неупругих деформаций. Только в этом случае можно говорить о достоверности расчетов и конструктивных решений, принимаемых на основании этих расчетов. При сравнительно небольших деформациях несущих конструкций сооружения, работу материала можно моделировать в виде нелинейно-упругой системы, поскольку при слабой нелинейности развитием пластических деформаций можно пренебречь. При сравнительно сильных воздействиях необходимо рассматривать весь комплекс нелинейностей, происходящих при колебании элементов конструкций (возникновение трещин, остаточная деформация, деградация жесткости, выключение (разрушение) элемента, упрочнение, сухое трение и др.)

При расчете зданий и сооружений по линейной схеме зданию приписываются завышенные жесткостные, прочностные и деформативные характеристики. Усилия, полученные таким расчетом, являются исходными при проектировании несущих элементов конструкций. Традиционно считается, что запроектированные таким образом здания и сооружения будут иметь запас прочности. Это обстоятельство является спорным, так как завышение всех характеристик явно не идет в запас. Это обстоятельство отражено и в СНиП II-7-81*[4], при помощи коэффициента K_1 , который принимает значение от 0.12 до 1, в зависимости от типа конструктивной схемы здания. Наши предварительные исследования показывают, что нет однозначной зависимости в сторону увеличения или уменьшения деформационных и жесткостных характеристик.

Вопрос учета упругопластической работы материала конструкции до сих пор нуждается в систематических экспериментально-теоретических исследованиях. Последние более-менее систематические исследования проводились в конце времен перестройки и закончились с концом существования СССР в 1991 году. Зарубежные исследования в этом направлении не прекращались и методика, заложенная в таких программных комплексах как Abaqus, Nastran, Ansys основана на экспериментально-теоретических исследованиях зарубежных авторов, которые нам недоступны в систематизированном виде. Необходимо проведение систематических экспериментов на крупномасштабных моделях для

определения параметров упругопластических колебаний при сложных динамических нагрузениях.

Исходя из вышеизложенного, остро встает проблема корректного анализа поведения зданий и сооружений при случайных динамических воздействиях, таких как землетрясение, для выявления всех резервов несущей способности с целью повышения их надежности. Последнее является гарантией того, что не будет катастрофических последствий при землетрясении, ибо государственным приоритетом РФ (так же как и всех цивилизованных государств) является сохранность жизни и безопасности людей.

В настоящее время активно осваиваются сейсмически-опасные районы страны, такие как Сочи и весь Краснодарский край (Олимпиада), Сахалин и Камчатка (освоение перспективных маршрутов транспортировки углеводородов), Сибирь. В этих районах ведется строительство уникальных и особо ответственных зданий и сооружений. Проекты этих зданий зачастую «вылезают» за пределы норм, в связи с этим возникает необходимость их расчета не только по спектральному методу, но и по п. 2.2.6 СНИП II-7-81*[4]. Спектральный метод дает более-менее удовлетворительный результат, если здание является типовым, регулярным и простым в плане. Как только нарушается регулярность, сразу начинают проявляться эффекты, которые спектральный метод в принципе не способен учитывать. Поэтому в нормах указано, что такие здания и сооружения необходимо рассчитывать во временной области с учетом развития неупругих деформаций. Тем самым повышается надежность зданий и сооружений, уменьшается сейсмический риск разрушения, что в свою очередь влечет значительную экономию социальных и материальных ресурсов. Однако каких-либо рекомендаций о том, как учитывать развитие неупругих деформаций в работе элементов конструкций, в настоящее время нет.

На сегодняшний день современные отечественные программные комплексы, такие как Лира, Stark, Scad, СТАДИО, ПРИНС, не позволяют рассчитывать здания и сооружения во временной области с учетом развития неупругих деформаций. Некоторые зарубежные программные комплексы обладают такой возможностью считать в упругопластической постановке, но не отвечают требованиям российских норм. С их помощью мы можем исследовать лишь качественную картину напряженно-деформированного состояния конструкции.

Таким образом, вопрос учета неупругих деформаций в работе элементов конструкций является весьма актуальным, поскольку он является одним из основных вопросов корректного анализа сооружений при динамических воздействиях.

В работе исследуются интегральные модели зданий, поэтому, для учета физической нелинейности в работе конструкций, необходимы диаграммы деформирования (зависимости восстанавливающей силы от относительного перемещения).

Существует множество аналитических диаграмм деформирования: Прандтля, степенные, тригонометрические, Рамберга-Озгуда.

Рассмотрим диаграммы, скелетная кривая которой описывается уравнением, $R(y) = \frac{a}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon y$. Имеем участки «нагрузки-разгрузки». 0-1, 2-3, 4-5 – нагрузка, 1-2, 3-4 – разгрузка, подчиненная линейному закону.

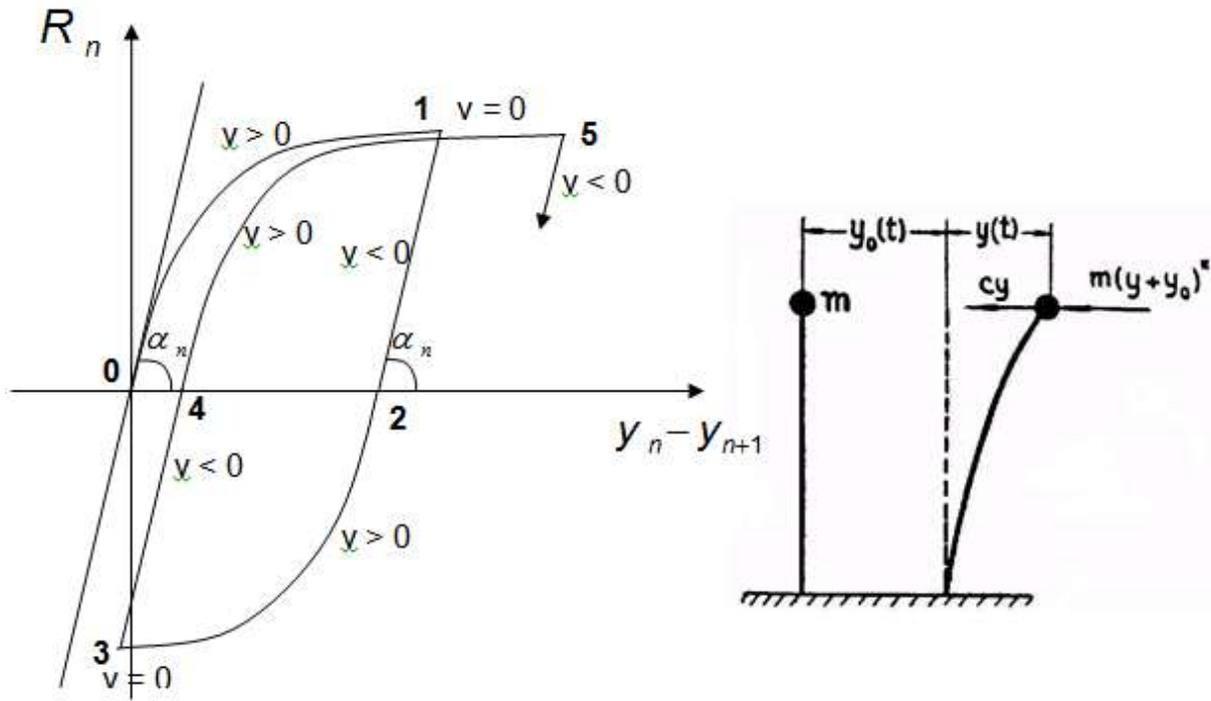


Рис. 1 - Участки гистерезиса. Справа – РДМ сооружения.

Уравнение движения системы на участке 0 – 1 имеет вид:

$$y_1'' + \frac{2\pi}{T} \cdot \alpha \cdot y_1' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon y = -y_0''(t); \quad (1)$$

Если для какого-нибудь уравнения системы выполнимо условие

$$(y'_{k,1} - y'_{k-1,1}) = 0, \quad (2)$$

то это уравнение переходит в стадию разгрузки 1 – 2 и будет иметь вид

$$y_2'' + \frac{2\pi}{T} \cdot \alpha \cdot y_2' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \left[y_2 - y_2(t_1) + \frac{1}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon y_1(t_1) \right] = -y_0''(t); \quad (3)$$

где $t = t_1$ - момент времени, когда выполняется условие (2)

В момент времени $t = t_2$ уравнение переходит в стадию нагружения по ветви 2 – 3 и имеет вид

$$y_3'' + \frac{2\pi}{T} \cdot \alpha \cdot y_3' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon \cdot [y_3 - y_2(t_2)] = -y_0''(t); \quad (4)$$

Если для уравнения в момент времени $t = t_3$ выполняется условие $y'_{c_3} - y'_{n-1,3} = 0$, то оно переходит в стадию обратной нагрузки 3 – 4 и имеет вид

$$y_4'' + \frac{2\pi}{T} \cdot \alpha \cdot y_4' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot [y_4 - y_3(t_3)] + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon \cdot [y_3(t_3) - y_2(t_2)] = -y_0''(t); \quad (5)$$

Полная разгрузка происходит при условии

$$\frac{2\pi}{T} \cdot \alpha \cdot y_4' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot [y_4 - y_3(t_3)] + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon \cdot [y_3(t_3) - y_2(t_2)] = 0; \quad (6)$$

При выполнении условия (6) в момент времени $t = t_4$ начинается второй цикл колебаний. Для стадии 4 – 5 имеем уравнение

$$y_5'' + \frac{2\pi}{T} \cdot \alpha \cdot y_5' + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot \arctg \varepsilon \cdot [y_5 - y_4(t_4)] = -y_0''(t); \quad (7)$$

При выполнении условий $t'_{k,5} - t'_{k-1,5} = 0$ происходит переход уравнений по схеме (5) → (4) → (3) → (2) → (1) и т.д.

Таким образом реализуется учет физической нелинейности в работе конструкций.

Рассмотрим колебания одномассовой системы, рассчитанной с учетом развития неупругих деформаций:

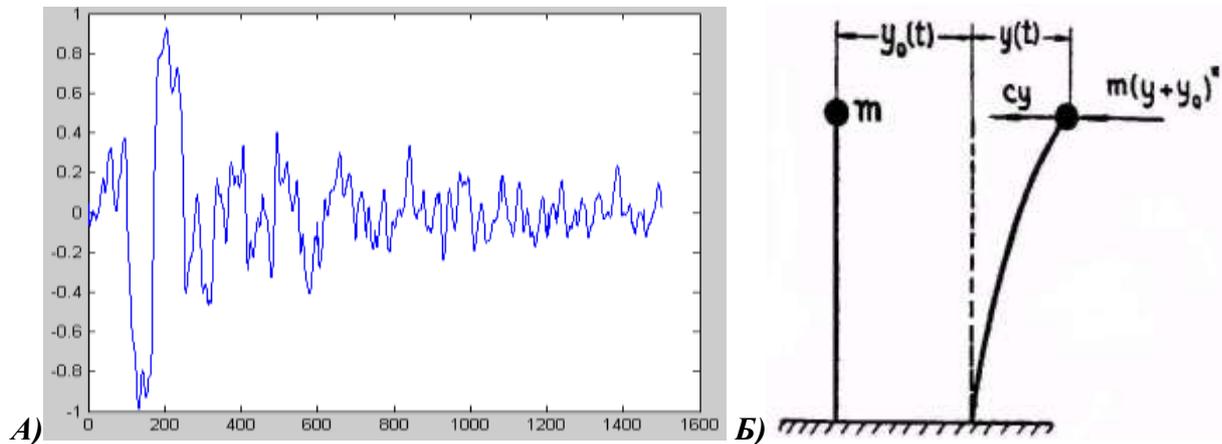


Рис.2 - Анализ одномассовой системы А) акселерограмма бухарестского землетрясения – внешнее воздействие. Б) РДМ.

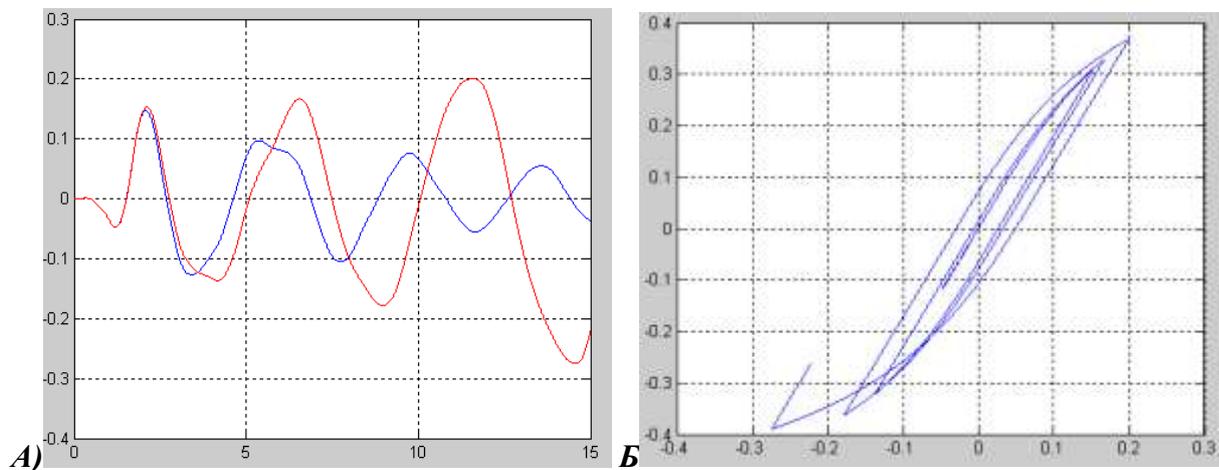


Рис. 3 - Анализ тригонометрической диаграммы А) перемещения: красным – нелинейные, синим – линейные колебания. Б) реализуемая диаграмма деформирования.

Рассмотрим трехмассовую систему:

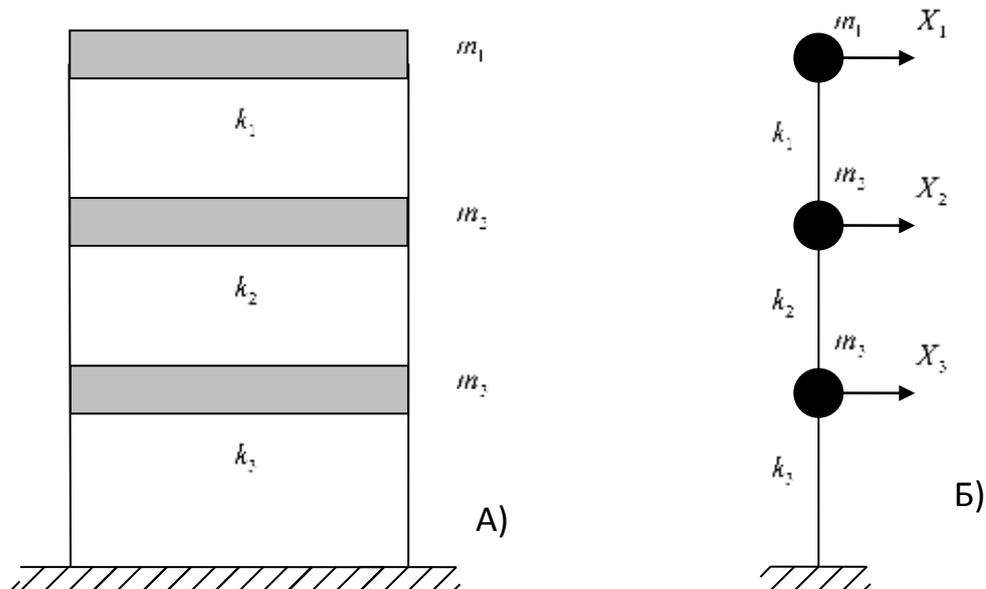


Рис. 4 - А) расчетная схема – трехэтажная рама.
Б) расчетная динамическая модель.

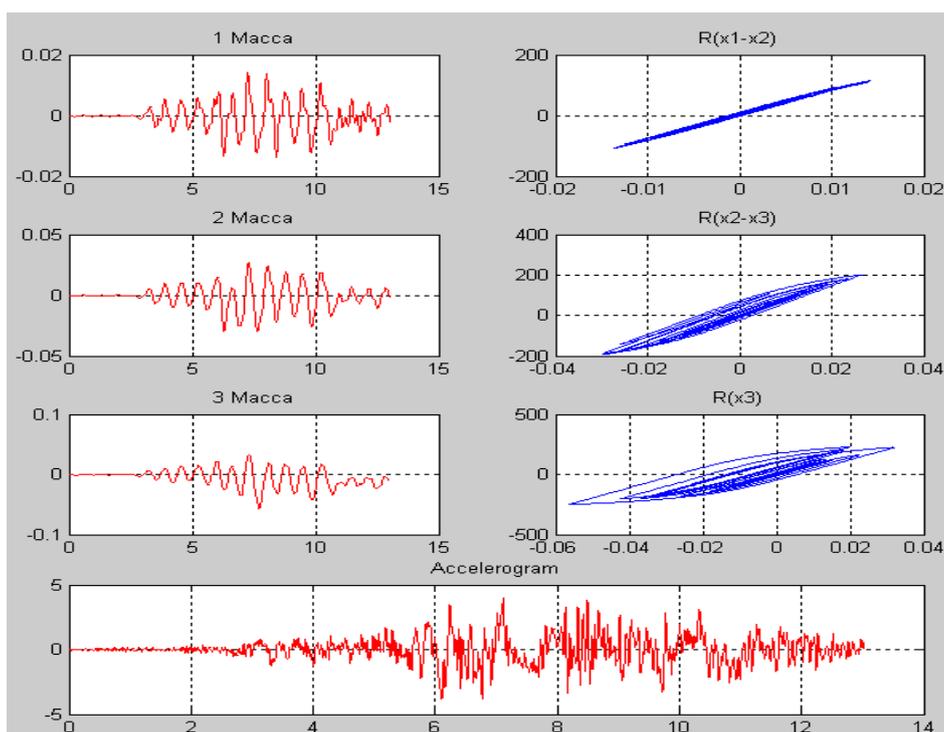


Рис 5 - Результаты расчета трехмассовой системы на акселерограмму газлийского землетрясения, диаграмма степенная (кубическая).

В работе проанализированы результаты расчетов одноэтажных, трехэтажных, четырехэтажных, девятиэтажных сооружений с учетом нелинейной работы материала, упруго-пластической работы материала, а так же линейной работы материала.

Из рис. 3 и 5 видно, что перемещения при нелинейной работе материала оказываются больше чем при линейной работе. Ускорения же получаются меньше. Этот факт отражен в

СНИП 2-7-81 [4]. Однако в СНиП записано, что уменьшать сейсмическую нагрузку на здания и сооружения необходимо в K_1 раза, настоящие исследования этого не подтверждают. Коэффициент K_1 принимает значения от 0.12 до 1.

При учете упруго-пластических свойств в работе элементов конструкции наблюдаются такие эффекты, как: увеличение перемещений, уменьшение ускорений, а, следовательно, и сейсмических сил. Хотя в некоторых случаях это не так.

Разработанная методика позволит адекватно представить динамику поведения сооружения с учетом нелинейных эффектов.

Дальнейшие исследования в этом направлении предполагается проводить в рамках дифференцированных моделей. Настоящие же исследования проводились для интегральных моделей.

В заключение автор обращает внимание на то, что актуальность пересмотра методов и подходов к расчетам на сейсмические воздействия очевидна. Региональные зависимости β_i (T_i) (коэффициент динамичности) как показывает практика расчетов, на самом деле не является огибающей спектров, и должны иметь иной вид. Поэтому ограничиваться лишь спектральным методом недопустимо, в расчетах высотных, уникальных и ответственных сооружений.

Список литературы:

1. Ньюмарк Н., Розенблюет Э. Основы сейсмостойкого строительства, М.: Стройиздат, 1980, 344 с.
2. Перельмутер А.В., Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Фиалко С.Ю., Маляренко А.А. Опыт реализации проекта МСН СНГ "СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ" в программной системе SCAD // Материалы к докладу на V Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию, Сочи, 22-26 сентября 2003 г.
3. Ржевский В.А. Сейсмостойкость зданий в условиях сильных землетрясений, Ташкент: «ФАН», 1990, 260 с.
4. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. М.: Госстрой, 1981, 129 с.
5. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения, Ереван: «Айастан», 1973, 328с.
6. Хачиян Э.Е., Амбарцумян В.А. Динамические модели сооружений в теории сейсмостойкости, М.: Наука, 1981, 204с.

О. С. Лехов¹ д.т.н., Е. Ю. Раскатов² к.т.н.

¹Российский государственный профессионально-педагогический университет
Россия, г. Екатеринбург

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Россия, г. Екатеринбург
raskatov@pochta.ru

МНОГОУРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

Описан алгоритм многоуровневой оптимизации параметров стана пилигримовой прокатки труб. Приведены результаты оптимизации технологических параметров процесса прокатки и параметров линии привода пилигримового стана.

Ключевые слова: оптимизация, алгоритм, критерий оптимизации, энергоёмкость, математическая модель, целевая функция, динамический момент.

Для повышения эффективности использования станов пилигримовой прокатки бесшовных труб большого диаметра осуществляется их перевод на работу с непрерывнолитой заготовкой круглого сечения. Кроме того, в связи с освоением и расширением сортамента труб из легированных и труднодеформируемых марок стали и повышением требований к их качеству необходимо дальнейшее совершенствование технологического процесса производства труб на пилигримовых станах. В связи с этим, необходимо определить оптимальные технологические параметры процесса пилигримовой прокатки труб с позиции снижения энергоёмкости технологического процесса и улучшения качества бесшовных труб, а также оценить нагруженность привода пилигримового стана.

Однако оптимизация только параметров технологического процесса или параметров линии привода прокатного стана не решает более важной задачи – оптимизации прокатного стана как сложной системы взаимосвязанных подсистем очага деформации, механической трансмиссии, подающего аппарата и электропривода. Используемый при этом метод оптимизации параметров пилигримового стана должен учитывать взаимную связь технологических, механических и электрических звеньев стана. Это связано с тем, что пилигримовый стан, оптимизацию параметров которого проводят без учёта взаимной связи параметров технологического процесса и привода, при высоких скоростях прокатки и подачах гильзы в валки может преждевременно выйти из строя вследствие высоких динамических нагрузок, а интенсивные крутильные колебания элементов главной линии и вибрации валковой системы и рабочей клетки могут привести к ухудшению качества труб.

Для определения оптимальных параметров пилигримового стана использован алгоритм двухуровневой оптимизации [1], который включает решение следующих задач: оптимизация параметров технологического процесса при заданном сортаменте труб (верхний уровень оптимизации); оптимизация параметров линии привода стана при заданных параметрах технологического процесса и электродвигателя, определённых на верхнем уровне оптимизации. Наиболее важным вопросом является выбор критериев оптимизации. Однако задача оптимизации усложняется тем, что пилигримовый стан оценивается по многим, и в ряде случаев противоречивым, критериям, таким как производительность (П), энергоёмкость (Э), динамическая нагруженность (Н), качество проката (К).

Учитывая актуальность экономии материально-энергетических ресурсов в качестве целевой функции при решении задач оптимизации параметров пилигримового стана на верхнем уровне целесообразно принять энергоёмкость технологического процесса (\mathcal{E}), а на другие показатели наложить ограничения.

Таким образом, задача оптимизации технологических параметров (верхний уровень) может быть сформулирована следующим образом:

Минимизировать $\mathcal{E}(\bar{X})$: $\bar{X} = [m, \omega]$ при ограничениях: $\Pi \geq \Pi_{\text{зад}}$; $m^{(1)} \leq m \leq m^{(2)}$; $\omega^{(1)} \leq \omega \leq \omega^{(2)}$; $T_{\text{МК}}^{(1)} \leq T_{\text{МК}} \leq T_{\text{МК}}^{(2)}$; $P \leq [P]$; $M \leq [M]$; $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} \leq K_{\text{п}}$; $M_{\text{кв}} \leq M_{\text{ном}}$, где \mathcal{E} – энергоёмкость процесса пилигримовой прокатки, кВт·ч/т; m – величина подачи гильзы в валки, мм; ω – угловая скорость валка, 1/с; Π – производительность стана, т; P – усилие прокатки, кН; $T_{\text{МК}}$ – температура конца прокатки, °С; M – момент прокатки, кН·м; $M_{\text{ном}}$ – номинальный момент электродвигателя, кН·м; $K_{\text{п}}$ – коэффициент перегрузки; $M_{\text{кв}}$ – среднеквадратичный момент, кН·м.

Математическая модель процесса пилигримовой прокатки включает известные зависимости для расчёта силовых параметров, удельного расхода энергии и производительности [2]:

Удельный расход энергии

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = 2 \cdot M \cdot \omega \cdot t_{\text{м}} / G, \quad (1)$$

где M – момент прокатки на один валок, кН·м; ω – угловая скорость валка, 1/с; $t_{\text{м}}$ – машинное время прокатки гильзы, с.

$$t_{\text{м}} = \frac{L_{\text{Г}}}{m} \cdot \frac{60}{n} \cdot \frac{(\Theta_{\text{Б}} + \Theta_{\text{П}})}{2\pi}, \quad (2)$$

где $L_{\text{Г}}$ – длина гильзы, мм; n – угловая скорость валка, об/мин; $\Theta_{\text{Б}}$, $\Theta_{\text{П}}$ – соответственно центральные углы бойковой и полирующей частей валка; G – масса гильзы, т.

Для решения задачи оптимизации параметров пилигримового стана использован комбинированный алгоритм, построенный на базе методов случайного поиска и симплекса Нелдера-Мида [1]. В качестве целевой функции на верхнем уровне оптимизации использована удельная энергоёмкость процесса пилигримовой прокатки. Диапазоны изменения варьируемых параметров: $10 \leq m \leq 35$ мм, $3.14 \leq \omega \leq 6.28$ 1/с.

Результаты расчёта приведены на рисунке 1. Полученные результаты с учётом данных теоретического исследования напряжённо-деформированного состояния металла в очаге деформации пилигримовой прокатки [3] позволяют обоснованно выбрать оптимальную величину подачи гильзы в валки с позиции выполнения заданной производительности, снижения энергоёмкости технологического процесса и нагруженности механического оборудования и улучшения качества бесшовных труб. С учётом результатов комплексного исследования оптимальная величина подачи равна 20 мм.

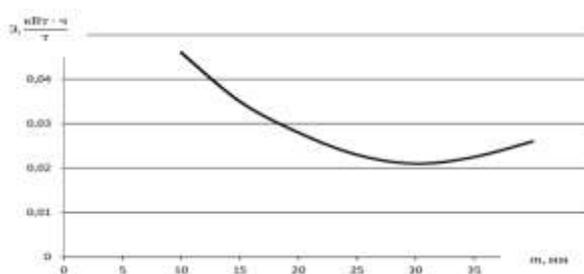


Рис. 1. Зависимость удельной энергоёмкости от величины подачи гильзы в валки пилигримового стана.

Как отмечалось выше, при интенсификации режимов пилигримовой прокатки возрастает как уровень динамической нагруженности несущих элементов главной линии пилигримового стана, так и взаимная связь процессов, происходящих в очаге деформации и линии привода [3]. Таким образом, динамические параметры привода, схема компоновки привода и конструктивные параметры, параметры очага деформации в совокупности определяют динамическую нагруженность элементов стана, в частности зубчатых передач, и качество труб. Кроме того, в машинах и агрегатах периодического действия наблюдается большое количество поломок несущих элементов привода, основной причиной которых являются динамические нагрузки [1].

В связи с этим, в качестве критерия оптимизации (второй уровень) параметров пилигримового стана целесообразно использовать динамическую нагруженность, поскольку снижение данного показателя позволит повысить долговечность несущих звеньев, а также улучшить качество труб.

Таким образом, в качестве целевой функции целесообразно принять максимальную амплитуду динамического момента, то есть $F = M^D$, где M^D – максимальная амплитуда момента крутильных колебаний, кН·м.

Однако линия привода пилигримового стана включает в свой состав шестерённую клеть, на моторном валу имеется маховик, то есть является многомассовой системой. В связи с этим, в процессе оптимизации необходимо добиться снижения динамических нагрузок во всех или более слабых звеньях линии привода, то есть задача является многокритериальной. Поэтому целевую функцию (F) следует записать в виде [1], а задачу оптимизации (второй уровень) сформулировать следующим образом:

Минимизировать $F = \sum M_i^D + \sum_{j=1}^{n-1} K_j \cdot (M_j^D - M_{j+1}^D)^2$; $\bar{X} = [c, J]$ при параметрических ограничениях: $c_i^{(1)} \leq c_i \leq c_i^{(2)}$; $J_i^{(1)} \leq J_i \leq J_i^{(2)}$, где K_j – коэффициент штрафа; c_i – жёсткость упругой связи; J_i – момент инерции сосредоточенной массы.

Решение задачи оптимизации параметров линии привода пилигримового стана осуществляется с помощью математической модели, включающей модели очага деформации и линии привода. Система дифференциальных уравнений, описывающих динамические процессы в линии привода пилигримового стана согласно расчётной схемы, как показано на рисунке 2, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 &= M_{\text{дв}} - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - q_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2); \\
 J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 &= c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + q_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_{24}(\varphi_2 - \varphi_4) - \\
 &\quad - q_{24}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_4) - c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) - q_{23}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3); \\
 J_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 &= c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) + q_{23}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - M_3; \\
 J_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 &= c_{24}(\varphi_2 - \varphi_4) + q_{24}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_4) - \\
 &\quad - c_{45}(\varphi_4 - \varphi_5) - q_{45}(\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_5); \\
 J_5 \cdot \ddot{\varphi}_5 &= c_{45}(\varphi_4 - \varphi_5) + q_{45}(\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_5) - M_5; \\
 T_3 \cdot \dot{M}_{\text{дв}} &= -M_{\text{дв}} - \frac{(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)}{(\vartheta \cdot \omega_0)},
 \end{aligned} \tag{3}$$

где T_3 – электромагнитная постоянная двигателя; ϑ – модуль жёсткости механической характеристики; ω_0 – угловая скорость на холостом ходу, 1/с; J – момент инерции сосредоточенной массы, г·м² (кН·м·с²); c – жёсткость упругой связи, кН·м/рад; q – коэффициент эквивалентного вязкого демпфирования, кН·м·с; M_3, M_5 – моменты на валках, кН·м; $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ – соответственно угол поворота, угловая скорость и угловое ускорение

сосредоточенной массы; K_3, K_5 – эмпирические коэффициенты, определяющие время переходного процесса захвата гильз валками.

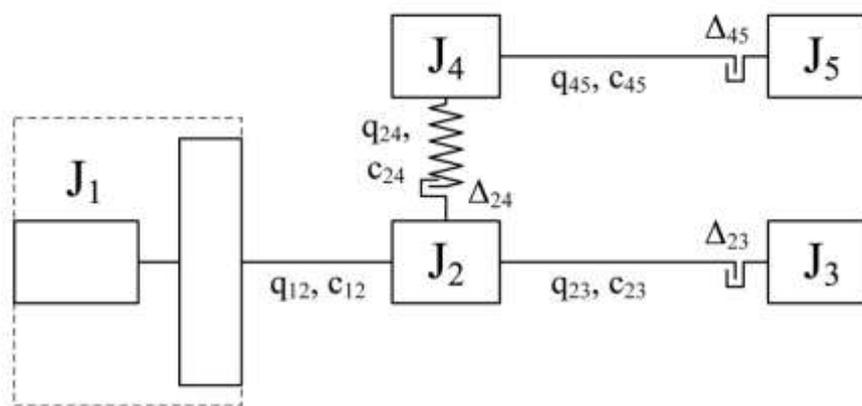


Рис. 2. Расчётная схема линии привода пилигримового стана.

Задача оптимизации решена для наиболее тяжёлого режима нагружения линии привода пилигримового стана – мгновенного приложения нагрузки при захвате гильзы валками. Время переходного процесса захвата гильзы валками 0.05 с. В качестве варьируемых параметров использованы жёсткости упругих связей C_{23}, C_{45} . Начальные значения конструктивных параметров равны параметрам пилигримового стана №2 ОАО «ЧТПЗ», диаметры шпинделей которого 390 мм. Решение системы дифференциальных уравнений (3) проводили методом Рунге-Кутты.

Заключение

В процессе оптимизации варьировали жёсткости шпинделей (C_{23}, C_{45}) в диапазоне 7000-14000 кН·м/рад. Установлено, что при мгновенном приложении нагрузки (0,03÷0,05 с) при захвате гильзы валками пилигримового стана жёсткости шпинделей практически не влияют на максимальную амплитуду динамического момента крутильных колебаний, которая равна 1130÷1170 кН·м. Эти динамические нагрузки следует учитывать при расчёте элементов линии привода пилигримовых станков на прочность и долговечность.

Список литературы:

1. Лехов О.С. Оптимизация машин для деформации непрерывнолитых заготовок. – М: УИФ «Наука». 1995. 182 с.
2. Мазур В.Л. Сопротивление деформации низколегированных сталей / В.Л. Мазур, Д.Д. Хижняк. Сталь. 1991. №8. С. 41-43.
3. Измерение нагрузок на шпинделях валков пильгерстана / Чечулин Ю.Б. [и др.] // Металлург. 2007. №6. С.47-49.

О. С. Лехов¹ д.т.н., Е. Ю. Раскатов² к.т.н., Д. А. Соловьев¹

¹Российский государственный профессионально-педагогический университет
Россия, г. Екатеринбург

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Россия, г. Екатеринбург
raskatov@pochta.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В МГНОВЕННОМ ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ПИЛИГРИМОВЫХ СТАНОВ

Представлен анализ калибровок валков пилигримовых станов с позиции нагруженности оборудования, уровня и характера распределения напряжений в мгновенном очаге деформации

Ключевые слова: калибровка валков, силовые параметры, моделирование, очаг деформации, напряжения

Одним из основных путей совершенствования процесса горячей пилигримовой прокатки бесшовных труб большого диаметра является обоснованный выбор рациональной калибровки валков пилигримовых станов. Известно [1], что калибровка пилигримовых валков определяет производительность стана, нагруженность рабочей клетки и линии привода, энергозатраты и качество прокатываемых труб.

Для оценки калибровок пилигримовых валков очень важно знать закономерности распределения максимальных растягивающих напряжений как вдоль, так и по периметру очага деформации, которые являются основной причиной образования дефектов (рванин). Также необходимо оценить распределение обжатий (радиальных перемещений металла) по длине и по периметру мгновенного очага деформации в зависимости от величины подачи гильзы в валки, что позволит выявить причины возникновения высоких растягивающих напряжений и принять меры для их снижения.

Моделирование процесса прокатки труб выполнялось с использованием программного продукта ANSYS v10.0 [2]. Расчет выполнялся с использованием метода конечных элементов в объёмной постановке. Упор сделан на определение напряжённо-деформированного состояния в начальной стадии процесса пилигримовой прокатки, где бойковой частью валка осуществляется захват и интенсивная деформация гильзы. Материал трубы в очаге деформации испытывает упругопластические деформации, которые достигают конечных значений. Поскольку их уровень высок, то при описании модели материала трубы в очаге деформации учтена не только физическая, но и геометрическая нелинейность.

Рассматривался процесс пилигримовой прокатки труб из стали 14ХГС диаметром 325 мм из гильзы диаметром 500 мм, диаметр дорна равен 300 мм. Моделирование начальной стадии процесса пилигримовой прокатки проводили для калибровки валков, где центральные углы участков поперечного сечения валка равны: бойкового – 110°, полирующего – 65°, выпуска – 45°, холостого – 140°, начальный радиус бойка равен 260 мм. Скорость вращения валков составляла 45 об/мин. Температура прокатываемого металла гильзы принята постоянной и равной 1050 °С.

Для оценки калибровки валков проведён расчёт обжатий и напряжённого состояния гильзы в мгновенных очагах деформации при подачах 10 и 30 мм. Моделирование процесса

пилигримовой прокатки производилось для гильзы, дорна и участков калибра валка в декартовой системе координат, а результаты расчёта напряжений представлены в локальной цилиндрической системе координат.

На рисунках 1 и 2 приведены графики распределения максимальных растягивающих тангенциальных – SY и продольных SZ напряжений и обжатий (нормальных перемещений – UX) по линиям 1 и 17 в зависимости от угла поворота калиброванного валка соответственно для подач 10 и 30 мм.

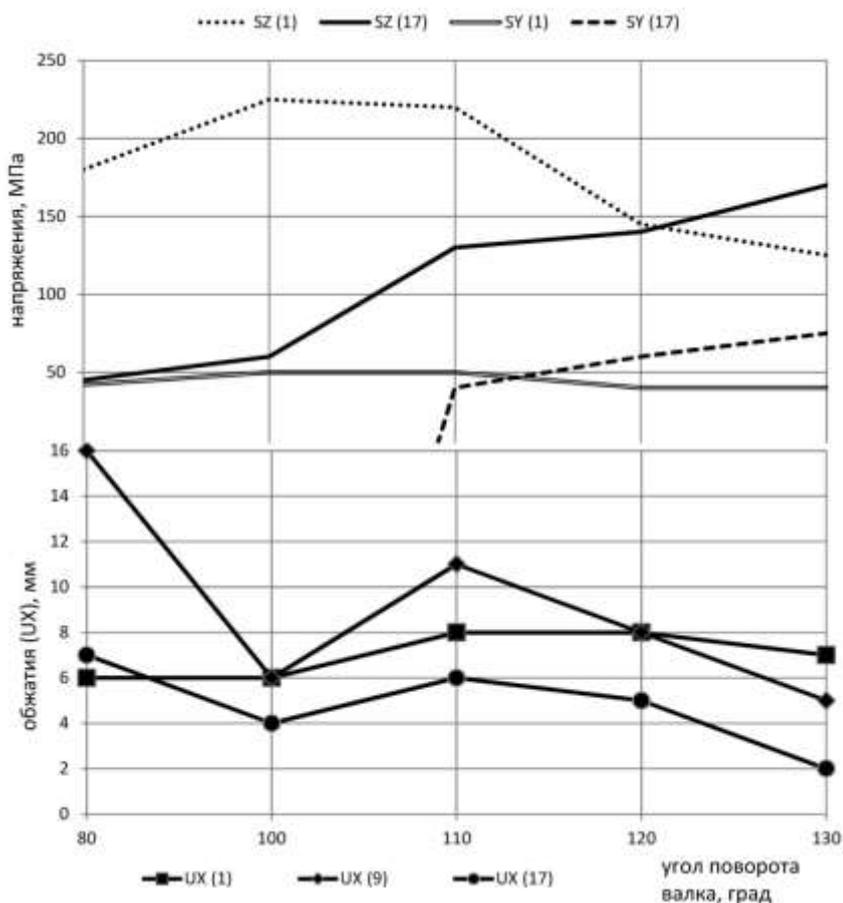


Рис. 1. Распределение максимальных растягивающих тангенциальных SY и продольных SZ напряжений и обжатий UX. Подача 10 мм.

Линия 1 характеризует напряжённое состояние металла вблизи контакта гильзы с вершиной калибра валка, а линия 17 – вблизи реборды валка. Начало каждой линии находится в зоне перехода гильзы в очаг деформации, а конец каждой линии – в зоне перехода очага деформации в готовый участок трубы. Такое положение линий позволяет наглядно представить распределение напряжений и обжатий как по длине, так и по периметру очага деформации. Для рассматриваемой калибровки валков длина каждой линии равна 700 мм.

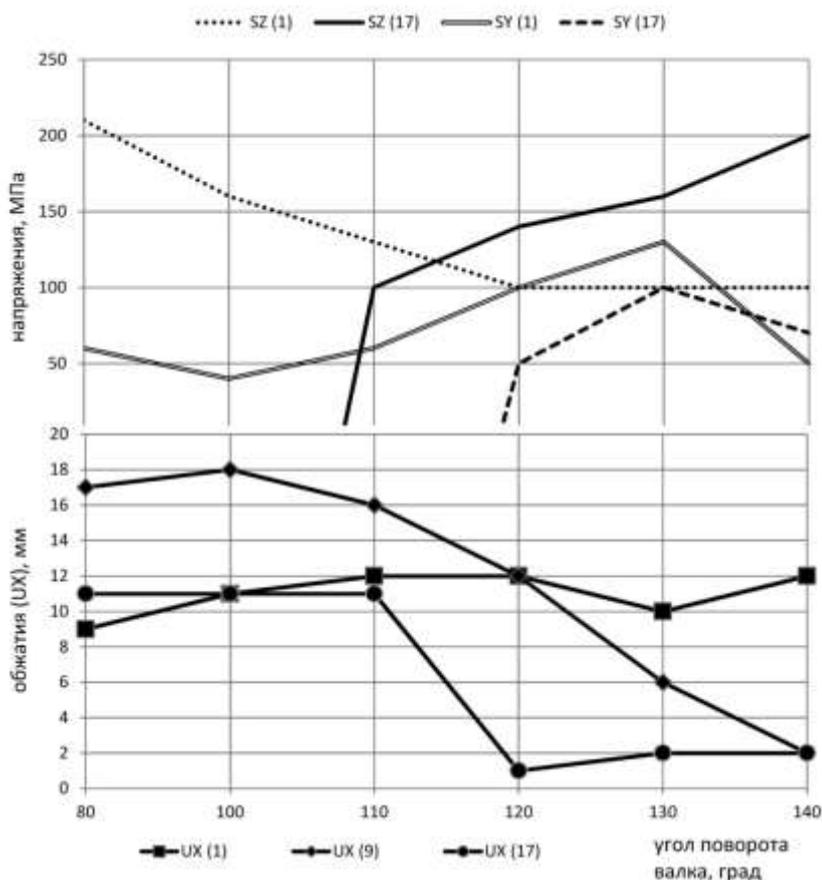


Рис. 2. Распределение максимальных растягивающих тангенциальных SY и продольных SZ напряжений и обжатий UX. Подача 30 мм.

При анализе результатов моделирования выяснилось, что максимальные растягивающие тангенциальные – SY и продольные – SZ напряжения возникают для подачи 10 мм при углах поворота валка $80\div 130^\circ$ (длина наклонного участка очага деформации $450\div 680$ мм), а для подачи 30 мм – $80\div 140^\circ$ (длина наклонного участка очага деформации $450\div 700$ мм).

Высокие продольные растягивающие напряжения SZ ($200\div 225$ МПа) имеют место в зонах вершины (линия 1) и выпусков (линия 17), а между этими зонами растягивающих напряжений возникают продольные сжимающие напряжения (линия 9, середина калибра), достигающие $550\div 680$ МПа. Уровень тангенциальных растягивающих напряжений значительно ниже, чем продольных растягивающих, и они достигают максимальных значений (100-130 МПа) в зонах вершины и выпусков калибра. Для оценки калибровки пилигримовых валков важно знать закономерности изменения обжатий по длине и периметру очага деформации.

На рисунке 3 приведены эпюры обжатий гильзы валками при подачах 10 и 30 мм и угле поворота валков 110° . Для этих подач максимальное обжатие (перемещение по нормали UX) находится на расстоянии 500 мм от перехода гильзы в наклонный участок.

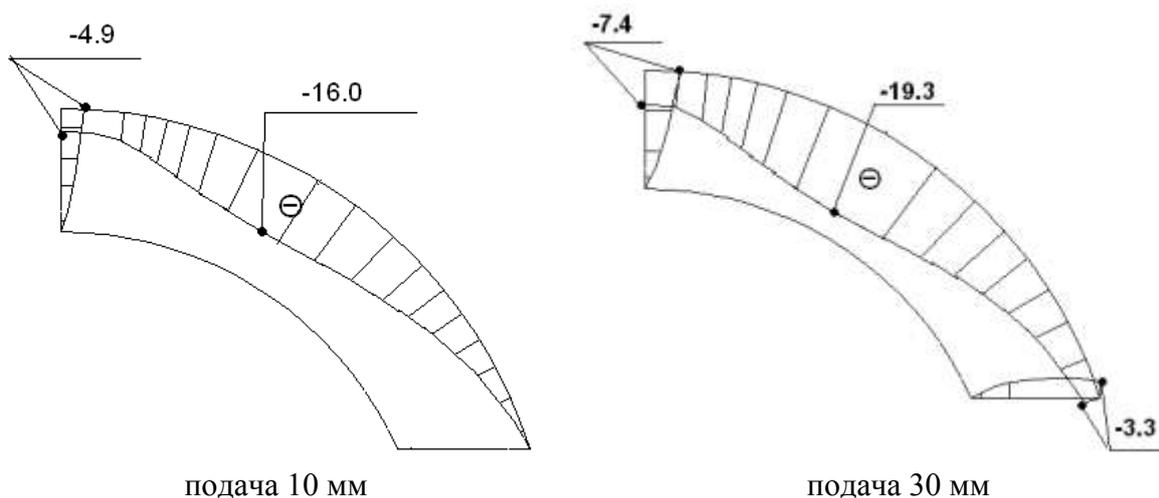


Рис. 3. Эпюры обжатия UX в поперечном сечении

Из рис. 3 следует, что наибольшего значения (до 19 мм) обжатия достигают в зоне линии 9, а в зонах вершины и выпусков калибра обжатия существенно ниже. Кроме неравномерности обжатия по периметру гильзы (рис. 3) наблюдается неравномерность обжатия гильзы и по длине очага деформации, особенно при подаче гильзы в валки 30 мм. Такой характер обжатия приводит к возникновению наибольших растягивающих продольных напряжений (до 225 МПа) в зоне контакта гильзы с вершиной калибра, угол поворота вала при этом равен 100° . Графики (рис. 1, 2) распределения растягивающих напряжений и обжатий по периметру и длине очага деформации при подачах 10 и 30 мм наглядно показывают, что наибольших значений растягивающие продольные напряжения достигают в зоне контакта гильзы с вершиной калибра, когда обжатия UX в этой зоне (линия 1) на 4-6 мм меньше, чем в средней зоне гильзы (линия 9).

Такой неравномерный характер распределения обжатий и высокий уровень растягивающих тангенциальных, особенно продольных напряжений является основной причиной образования дефектов типа «рванин» на поверхности тонкостенных труб из легированных марок стали при пилигримовой прокатке.

Заключение

Для снижения уровня высоких растягивающих напряжений и, соответственно, повышения качества труб калибровку валков пилигримовых станков следует выполнять таким образом, чтобы обеспечить более равномерный характер распределения обжатий, особенно, по периметру гильзы. Для стана пилигримовой прокатки ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» целесообразно выполнить калибровку таким образом, чтобы на 2-3 мм увеличить обжатие в зоне вершины калибра и на такую же величину уменьшить обжатие в средней зоне калибра.

Список литературы:

1. Лехов О.С., Раскатов Е.Ю. Горячая пилигримовая прокатка труб. Теория и расчёт. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 292 с.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadfem.ru>

О. С. Лехов¹ д.т.н., Е. Ю. Раскатов² к.т.н., В. В. Турлаев³ к.т.н.

¹Российский государственный профессионально-педагогический университет
Россия, г. Екатеринбург

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Россия, г. Екатеринбург
raskatov@pochta.ru

³Министерство промышленности и науки Свердловской области
Россия, г. Екатеринбург

ОЦЕНКА ОБЪЁМНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Создана математическая модель процесса пилигримовой прокатки труб с учётом нестационарности процесса от цикла к циклу. Модель позволяет определить энергосиловые, деформационные, кинематические параметры процесса, геометрические размеры прокатываемой трубы; выбрать рациональные параметры калибровки валков; выполнить комплексный анализ результатов моделирования процесса прокатки труб.

Ключевые слова: моделирование, обжатия, калибровка, расчётная модель, гильза, подача, напряжения

Моделирование процесса горячей прокатки стальных труб на пилигримовом стане выполнялось с использованием программного продукта ANSYS [1]. Упор сделан на определение напряжённо-деформированного состояния и характера течения металла, возникающего в мгновенных очагах деформации при прокатке трубы из стали 14ХГС в пилигримовых валках различных калибровок. Размеры прокатываемой трубы и валков приведены на рисунках 1 и 2.

Процесс прокатки трубы на пилигримовом стане рассматривался не как статический процесс, а моделировался как процесс захвата, так и деформации гильзы при повороте валка до получения готовой трубы, причём явление массопереноса [2] учитывается автоматически при моделировании формоизменения гильзы в готовую трубу.

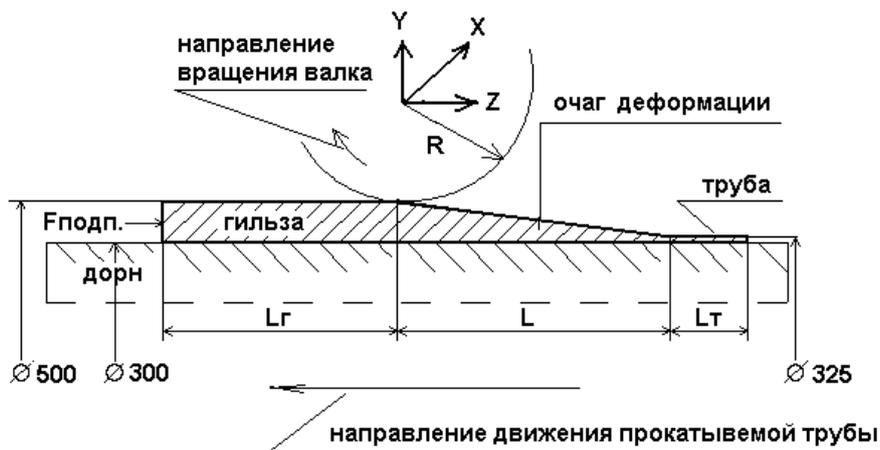


Рис. 1. Размеры заготовки для моделирования процесса прокатки.

При расчёте в качестве модели для мгновенных очагов деформации принято упругопластическое поведение, а не жёстко пластическое, как это делают некоторые исследователи, что позволяет учесть при моделировании историю нагружения. При моделировании использовали мультилинейное кинематическое упрочнение.

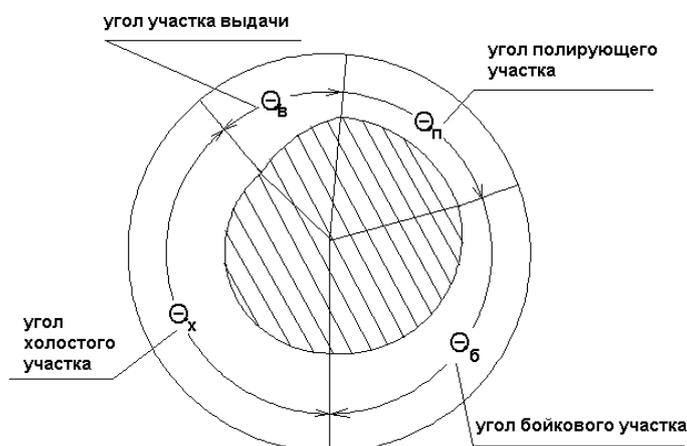


Рис. 2. Вид пилигримового вала.

При исследовании напряжённо-деформированного состояния трубы при прокатке пренебрегли инерционными и массовыми силами, деформируемый металл трубы считаем несжимаемым. Для расчёта скорости деформации определили время деформации заготовки для трёх калибровок валков. Для вала, у которого угол бойковой части калибра равен 105° время деформации равно 0.22 с. Для вала, у которого угол бойковой части калибра равен 110° время деформации равно 0.23 с секунды. Для вала, у которого угол бойковой части калибра равен 120° время деформации равно 0.25 с. Тогда скорость деформации равна соответственно – 3.84 1/с, 3.67 1/с и 3.36 1/с.

Расчёт производился в валках различных калибровок. Вид вала пилигримового стана показан на рис. 2, где θ_b , θ_p , θ_v и θ_x – соответственно центральные углы бойка (гребня), полирующего участка, выпуска и холостого участка. Размеры углов бойкового участка, полирующего участка, участка выдачи и холостого участка приведены в таблице 1. Радиусы по дну калибра и радиусы в поперечном сечении калибра одинаковы для приведённых в табл. 1 калибровок и даны в таблице 2.

Модель и само моделирование процесса прокатки производилось для заготовки, дорна и участков калибра калиброванного вала в декартовой системе координат. При расчёте в силу симметрии рассматривали четвертую часть заготовки, как это показано на рисунке 3. На данном рисунке показана система координат XYZ и элементы модели, участвующие при расчёте.

Таблица 1

Размеры углов бойкового участка, полирующего участка, участка выдачи и холостого участка для трёх калибровок, принятых для расчёта.

Обозначение калибровки вала	Угол участка, град			
	бойкового	полирующего	выдачи	холостого
	θ_b	θ_p	θ_v	θ_x
105-70-45-140	105	70	45	140
110-65-45-140	110	65		
120-55-45-140	120	55		

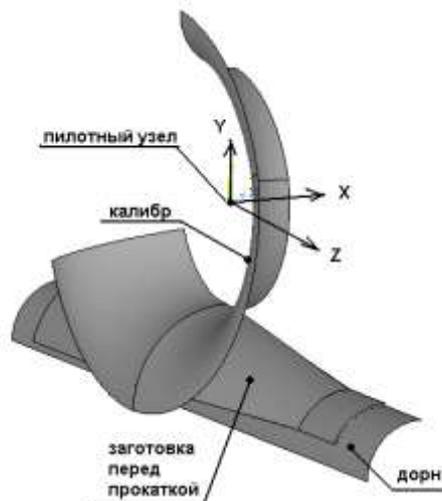


Рис. 3. Расчётная модель прокатываемой трубы в пилигримовых валках.

Таблица 2
Радиусы по дну калибра и радиусы в поперечном сечении калибра

Параметр	Участок			
	бойковый	полирующий	выдачи	холостой
Радиусы по дну калибра в начале участков, мм	265	359	359	275
Радиусы в поперечном сечении калибра, мм	260	166	166	250

Заготовка трубы представлялась твердотельной объёмной моделью, а калибр и дорн моделировался недеформируемой твёрдой поверхностью. Заготовка трубы, калибр и дорн были разбиты на конечные элементы. Конечно-элементная модель трубы формировалась из трёхмерных 20-ти узловых твердотельных элементов SOLID186. Сетка конечных элементов строилась регулярной [1]. С использованием мастера контакта [1], на поверхностях контакта калибра валков и дорна с трубой размещены контактные элементы TARGE170 и CONTA174 [1]. Коэффициент трения между заготовкой с калибром и с дорном в зоне их контакта принят равным 0.32.

Процесс моделировался от исходного положения заготовки, дорна, полирующего участка, бойкового участка и части участка холостого хода. Исходно величина m для всех вариантов расчёта принималась равной нулю. В качестве допущения приняли, что подача заготовки осуществляется мгновенно. Поэтому на первом шаге к торцу гильзы и дорна прикладывалось перемещение в положительном направлении по оси Z , равное величине m . К торцу гильзы на первом шаге, прикладывалось усилие подпора, равное 550/4 кН (в силу расчёта четвертой части заготовки). При этом приняли, что на первом шаге при подаче заготовки на величину m валок не вращается. Данное допущение вполне оправданно, поскольку диаметр калибра вначале бойкового участка равен 520 мм, а диаметр гильзы – 500 мм.

На втором шаге и на всех последующих шагах с торца заготовки было удалено заданное перемещение m . К торцу заготовки прикладывалось усилие подпора, линейно изменяющееся от 550/4 кН до 1 200/4 кН. Пилотному узлу на каждом шаге задавалось кинематическое граничное условие в виде поворота валка на угол, равный одному градусу. Поскольку моделировалось поведение заготовки только на двух участках калибра –

бойкового и полирующего, то количество шагов для каждого варианта было принято равным 175. Это обусловлено тем, что для каждой калибровки сумма углов бойкового и полирующего участков неизменна и равна 175°. На каждом шаге (угле поворота валка) заготовка перемещалась и деформировалась уже за счёт сил трения между заготовкой и поворачивающимся калибром валка, а также передвигающимся дорном и усилием подпора. Принятая последовательность шагов обеспечивала деформацию заготовки от момента подачи заготовки до получения готового участка трубы [1, 3].

Модуль упругости определён по зависимости (1), приведённой в работе [4].

$$E = -4.566 \cdot 10^5 + 160 \cdot T + \frac{3.266 \cdot 10^8}{T}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала;
 T – температура металла.

В соответствии с представленной зависимостью и принятой температурой заготовки 1 050 °С модуль упругости металла при прокатке трубы принят постоянным и равным 22 448 МПа.

Одним из основных параметров при моделировании процесса прокатки является определение сопротивления пластической деформации, которое вычислено по зависимости (2), приведённой в работе [5].

$$\sigma_s = 288 \cdot u_i^{0.107} \cdot (\ln \varepsilon_i)^{1.45} \cdot e^{-0.00235 \cdot T}, \quad (2)$$

где σ_s – сопротивление пластической деформации, МПа;

u_i – скорость деформации, 1/с;

ε_i – степень деформации, %.

При моделировании процесса горячей пилигримовой прокатки труб одновременно определяли напряжения и перемещения металла в мгновенных очагах деформации. Графики изменения продольных перемещений металла приведены на рисунке 4, на котором показаны зона вершины (линия 1) и выпусков (линия 17), а между этими зонами – середина калибра (линия 9).

Эти данные наглядно показывают уровень и закономерности распределения напряжений и перемещений металла, как по длине, так и по периметру очага деформации.

Для оценки адекватности математической модели горячей пилигримовой прокатки труб и обоснования целесообразности использования программного продукта ANSYS для решения объёмных упругопластических задач проведён сравнительный анализ результатов моделирования и экспериментального исследования силовых параметров горячей пилигримовой прокатки, который показал удовлетворительную сходимость.

Полученные при моделировании результаты позволили выявить причины возникновения дефектов трубы типа «рванин» и внедрить новую методику корректировки калибровки валков на ОАО «ЧТПЗ» с целью повышения качества труб большого диаметра.

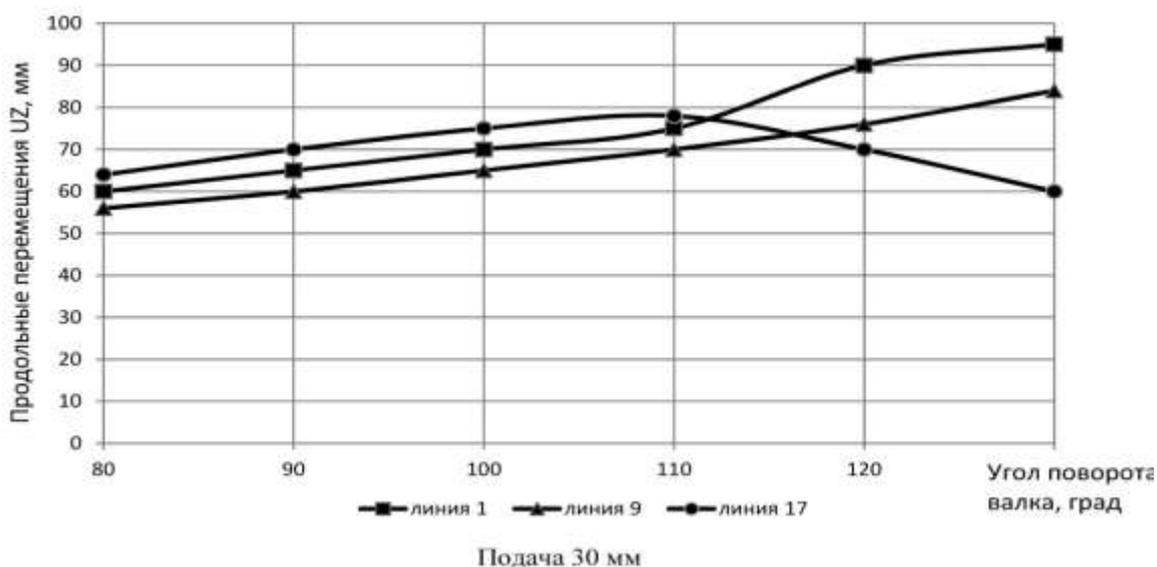
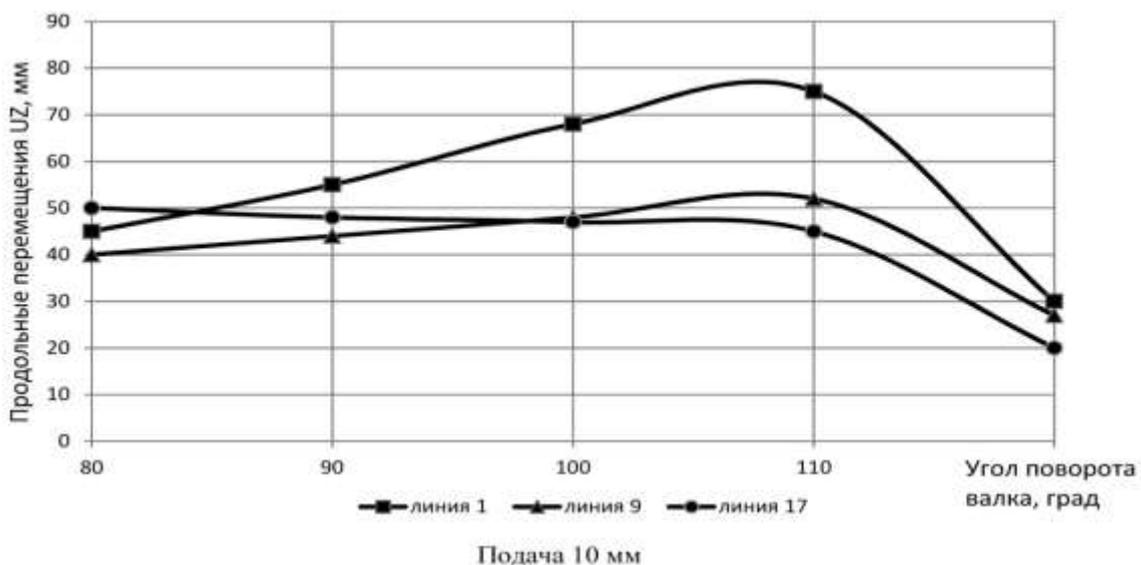


Рис. 4. Продольные перемещения UZ по линиям 1, 9 и 17 контакта калибра с заготовкой.

Список литературы:

1. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadfem.ru>
2. Иванов А.В., Восканьянц А.А. Моделирование процесса поперечно-винтовой прокатки на основе эйлера описания движения сплошной среды (<http://technomag.edu.ru/doc/113356.html>). – МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2009.
3. Лехов О.С., Раскатов Е.Ю. Горячая пилигримовая прокатка труб. Теория и расчёт. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 292 с.
4. Калмыков В.В., Ананьев И.Н., Байрамов О.Ф. Расчёт энергосиловых параметров и формоизменения при прокатке в черновых клетях широкополосных станов методом конечных элементов // Труды МВТУ. – 1984. – № 412. Машины и агрегаты металлургического производства. – С. 57-67.
5. Мазур В.Л., Хижняк Д.Д. Сопротивление деформации низколегированных сталей // Сталь – 1991 – № 8 – С. 41-43.

Д. С. Лобарёв

Псковский государственный университет
физико-математический факультет, кафедра алгебры и геометрии
Россия, г. Псков
lds1979@mail.ru

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ ИГРЕ N ЛИЦ С ВЕКТОРНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ВЫИГРЫША

В работе представлено решение дифференциальной линейно-квадратичной игры N лиц с векторными функциями выигрыша. Экспертные оценки представляют собой количественную информацию об относительной важности компонент функции выигрыша, относительно которых проводится линейная свертка. Решается бескоалиционная дифференциальная игра, используя принцип максимума Понтрягина.

Ключевые слова: дифференциальная игра, экспертные оценки, оптимальное управление, принцип максимума Понтрягина.

Работа посвящена поиску оптимального решения в дифференциальной линейно-квадратичной игре N лиц с векторными функциями выигрыша. Наличие компонент в критериях игроков является выражением неопределённости, которая в задачах управления выделена, как “неопределённость, отражающая нечёткость знания игроками своих целей” [1, с.24]. Выявление единой целевой функции снимает эту проблему. Один из подходов связан с использованием экспертных оценок. От своих экспертов игроки получают информацию о важности компонент своей функции выигрыша. Также каждый игрок дает оценку экспертам, учитывая их компетентность в рассматриваемой задаче. Тем самым для каждого игрока определяется компромиссный весовой вектор, относительно которого проводится линейная свертка компонент функции выигрыша. Эти весовые векторы позволяют свести игровую задачу к стандартной бескоалиционной дифференциальной игре. Для последней разработаны эффективные методы решения. Для нахождения такого оптимального управления можно использовать принцип максимума Понтрягина [2, с.336 - 338].

Рассматривается дифференциальная линейно-квадратичная игра N лиц с векторными функциями выигрыша

$$\Gamma = \langle N, \Sigma, \{U_i\}_{i \in N}, \{J_i\}_{i \in N} \rangle \quad (1)$$

Аналогичные задачи рассматриваются в [1,3,4]. Здесь $N = \{1, \dots, N\}$ множество игроков. Функционирование управляемой динамической системой Σ рассматривается на временном отрезке $t \in [t_0, t_1]$. Текущее состояние системы Σ в каждый момент времени t характеризуется фазовым вектором $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t)) \in R^n$, который меняется со временем в соответствии с системой линейных дифференциальных уравнений с начальными условиями:

$$\dot{x} = A(t) \cdot x(t) + \sum_{i=1}^N B_i(t) u_i(t), \quad (2)$$

$$x(t_0) = x_0. \quad (3)$$

Элементы матриц $A(t)$, $B_i(t)$, где $i \in N$, предполагаются непрерывными. В экономической интерпретации в системе Σ представлены экономические агенты, например,

предприятия, отрасли, фирмы. Во главе каждого производителя стоит орган управления, принимающий решение с учетом своих целей. В модели экономические агенты называются игроками. Управляющее воздействие i -го игрока есть его стратегия. Пусть на управления ограничений не наложено, т.е.

$$u_i = u_i(t) \in U_i, i \in N, \quad (4)$$

где U_i множество управлений, выбором которых распоряжается i -ый игрок. В качестве управляющих воздействий могут выступать инвестиции в производство, перераспределения фондов, штрафы, премии, внедрение новых технологий и т.п.

Игра развивается следующим образом. Каждый игрок выбирает и использует свою стратегию u_i , в результате чего складывается ситуация $(u_1, \dots, u_N) \in U$. Фазовый вектор $x(t) \in R^n$ находится как решение задачи (2)-(3). Компоненты вектора $x(t)$ можно интерпретировать как составляющие объема производства к моменту времени t , например, трудовые и природные ресурсы, товары, виды фондов и услуг.

Для каждого игрока задана m -компонентная функция выигрыша

$$J_i = (J_i^1, \dots, J_i^m), i \in N, \quad (5)$$

где для каждого $j \in \{1, \dots, m\}$

$$J_i^j = \int_{t_0}^{t_1} (u_i^T D_i^j u_i + x^T E_i^j x) dt + x^T(t_1) F_i^j x(t_1), i \in N. \quad (6)$$

Здесь постоянные матрицы D_i^j , E_i^j и F_i^j являются положительно определенными симметрическими.

На содержательном уровне цель игроков состоит в выборе своих стратегий (4), при котором выигрыш каждого игрока (5) по всем компонентам (6) доставляет возможно меньшие значения. Например, минимизация совокупных издержек, трудовых издержек, затрат дефицитных товаров, материалов и т.п.

Экспертные оценки представляют собой количественную меру, которая отражают вес критерия в функциях выигрыша игроков (5), могут быть получены в результате маркетинговых исследований. Число экспертов у каждого игрока может быть различным.

Пусть у i -го игрока p_i экспертов. Экспертам i -го игрока, независимо друг от друга, для сравнения предлагается набор критериев $J_i^1, J_i^2, \dots, J_i^m$, которые выступают в качестве сравниваемых объектов. Таким образом, формируется матрица экспертных оценок i -го игрока $P_i = (p_{kj})_{p_i \times m}$, каждая строка указывает на мнение эксперта в виде коэффициентов важности критериев (6) вектор-функции (5). Элементы матрицы P_i положительные.

Игрок дает оценку экспертам, учитывая их компетентность в рассматриваемой области. Определяется диагональная матрица $L_i = (l_{kk})_{p_i \times p_i}$, $i \in N$, элементы на главной диагонали которой положительны и указывают на важность (или «вес») экспертов при оценивании критериев i -го игрока.

Задача нахождения компромиссного решения сводится к нахождению весового вектора $\Omega_i = (\alpha_i^1, \alpha_i^2, \dots, \alpha_i^m)$, $i \in N$. Такой вектор может быть получены из матрицы мнений экспертов P_i и матрицы L_i , которая указывает мнение i -го игрока

$$\Omega_i = e_{p_i} \cdot L_i \cdot P_i. \quad (7)$$

Здесь e_{p_i} - есть вектор-строка, состоящий из p_i - единиц. Элементы весового вектора Ω_i можно нормировать так, что $\sum_j \alpha_i^j = 1$.

Представленную дифференциальную позиционную линейно-квадратичную игру N лиц с векторными функциями выигрыша (1) у каждого игрока можно свести к игре со скалярными выигрышами у каждого игрока

$$J_i = \int_{t_0}^{t_1} (u_i^T D_i u_i + x^T E_i x) dt + x^T(t_1) F_i x(t_1), \quad i \in N, \quad (8)$$

$$\text{где } D_i = \sum_{j=1}^m \alpha_i^j D_i^j, \quad E_i = \sum_{j=1}^m \alpha_i^j E_i^j \quad \text{и} \quad F_i = \sum_{j=1}^m \alpha_i^j F_i^j.$$

Решение игры (2), (3), (8) со скалярными функционалами подробно рассмотрены в [2, с.334 - 338]. Необходимым условием минимума функционалов (8) является принцип максимума Понтрягина. Существует эффективный алгоритм применения принципа максимума для решения задачи (2), (3), (8) [2, с. 338].

1. Составляем гамильтонианы:

$$H_i(t, \psi_i, x, u_i) = \psi_i^T \left[A(t) \cdot x(t) + \sum_{i=1}^N B_i(t) u_i(t) \right] - [u_i^T D_i u_i + x^T E_i x], \quad i \in N. \quad (9)$$

Функция $\psi_i(t)$ в гамильтониане называется вспомогательной [2, с. 337].

2. Находим максимум гамильтонианов (9) по управлению. Так как ограничения на управления отсутствуют, можно применить необходимые условия безусловного экстремума:

$$\frac{\partial H_i(t, \psi_i, x, u_i)}{\partial u_i} = B_i^T \psi_i(t) - 2D_i u_i = 0. \quad \text{Отсюда находим вид стратегий игроков в задаче (2), (3), (8)}$$

$$u_i^*(t) = \frac{1}{2} D_i^{-1} B_i^T \psi_i(t), \quad i \in N \quad (10)$$

Каждая из стратегий обеспечивает максимум функций Гамильтона по управлению, так как удовлетворяет достаточным условиям максимума $\frac{\partial^2 H_i(t, \psi_i, x, u_i)}{\partial u_i^2} = -2D_i < 0$ в силу положительной определенности матриц D_i .

3. Выписываем уравнения системы (2), (3) с учетом (10) и условий трансверсальности [2, с. 336]

$$\dot{x}(t) = A(t) \cdot x(t) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N B_i(t) \cdot D_i^{-1} B_i^T(t) \cdot \psi_i(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad (11)$$

$$\dot{\psi}_i(t) = -\frac{\partial H_i(t, \psi_i, x, u_i)}{\partial x} = -A^T(t) \cdot \psi_i(t) + 2E_i x,$$

$$\psi_i(t_1) = -\frac{\partial [x^T(t_1) F_i x(t_1)]}{\partial x} = -2F_i \cdot x(t_1), \quad i \in N.$$

Таким образом, задача нахождения компромиссной ситуации $(u_1, \dots, u_N) \in U$ в бескоалиционной дифференциальной игре (2), (3), (8) сводится к решению системы $(N+1)$ - дифференциальных однородных уравнений с краевыми условиями. Здесь $x(t), \psi_1(t), \dots, \psi_N(t)$ - неизвестные функции, которые найдутся как единственное решение системы (11).

Утверждение. Рассматривается дифференциальная линейно-квадратичная игра N лиц с векторными функциями выигрыша у каждого игрока (1). Элементы матриц $B_i, i \in N$ в системе (2) являются непрерывными. Матрицы $D_i, i \in N$ из определения скалярной функции выигрыша i -го игрока (8) положительно определенные симметрические. Тогда в задаче (1) на

временном отрезке $t \in [t_0, t_1]$ существует равновесное решение $(u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*) \in U_1 \times U_2 \times \dots \times U_N$, где стратегии имеют вид

$$u_i^*(t) = \frac{1}{2} D_i^{-1} B_i^T \psi_i(t), \quad i \in N.$$

Здесь ψ_i , $i \in N$ - вспомогательные функции в Гамильтониане (9) найдутся как единственное решение системы дифференциальных однородных уравнений с краевыми условиями (11).

В работе рассматриваются вопросы, связанные с поиском решений при наличии нескольких критериев. Представлено решение многокритериальной динамической игровой задачи с экспертными оценками. Экспертные оценки представляют собой количественную информацию об относительной важности критериев. Такой же информацией обладают игроки, высказывая мнение о компетентности экспертов. Оценки экспертов и игроков образуют иерархию, что позволяет найти весовой компромиссный вектор, относительного которого проводится линейная свертка критериев. Далее решается бескоалиционная дифференциальная игровая задача, используя принцип максимума Понтрягина.

Список литературы:

1. Жуковский В.И., Салуквадзе М.Е. Риски и исходы в многокритериальных задачах управления. Тбилиси: Издательство Интеллекта, 2004.
2. Пантелеев А.В., Бортакровский А.С. Теория управления в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2003.
3. Жуковский В.И., Чикрий А.А. Линейно – квадратичные дифференциальные игры. Киев: Наукова Думка, 1994.
4. Матвеев В.А. Исследование конусной оптимальности в многокритериальной динамической задаче. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. № 5 (119). С.92-107.

А. В. Логинов, В. И. Мельников д.т.н., А. Н. Соколов, Д. И. Шмелев

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева
кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»
Россия, г. Н. Новгород
shmelev-dmitry@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДВУХФАЗНОГО ВОДО-ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Данная статья содержит описание стенда для экспериментальных исследований двухфазного водо-воздушного потока. Рассмотрены предпосылки создания стенда. Проведен претестовый расчет для вертикального исследуемого канала.

Ключевые слова: двухфазная среда, вертикальный канал, горизонтальный канал, наклонный канал, паросодержание, стенд.

Одним из направлений повышения безопасности атомных станций является внедрение пассивных систем. При проектировании пассивных систем аварийного отвода тепла возникает ряд проблем, связанных со сложностью корректного описания течений двухфазной среды при давлениях, близких к атмосферному. Существующие критериальные зависимости и замыкающие соотношения, в основном описывают параметры течения двухфазных сред при высоких давлениях. При этом исследований, в области давлений близких к атмосферному, недостаточно для описания контуров отвода тепла к конечному поглотителю систем пассивного теплоотвода.

В связи с этим, на опытной базе ОАО «ОКБМ Африкантов» создается экспериментальный стенд по исследованию двухфазного водо-воздушного потока, позволяющий проводить исследования течение водо-воздушного потока в вертикальных, наклонных и горизонтальных каналах.

Схема стенда и его основные геометрические параметры представлены на рисунках 1,2.

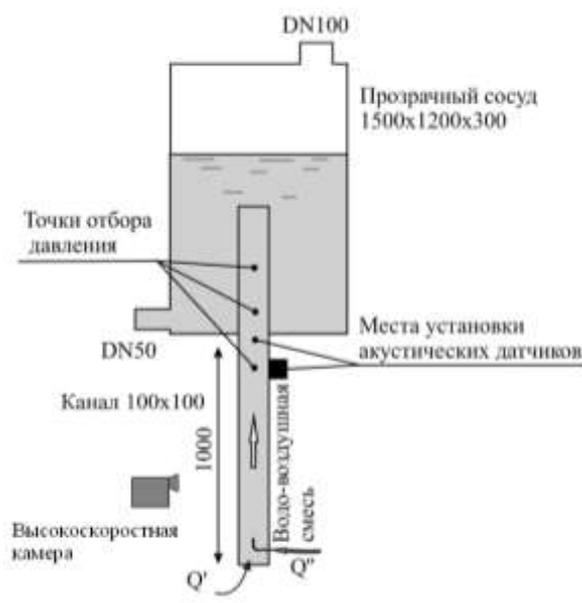


Рис. 1– Схема стенда при вертикальном исполнении канала.

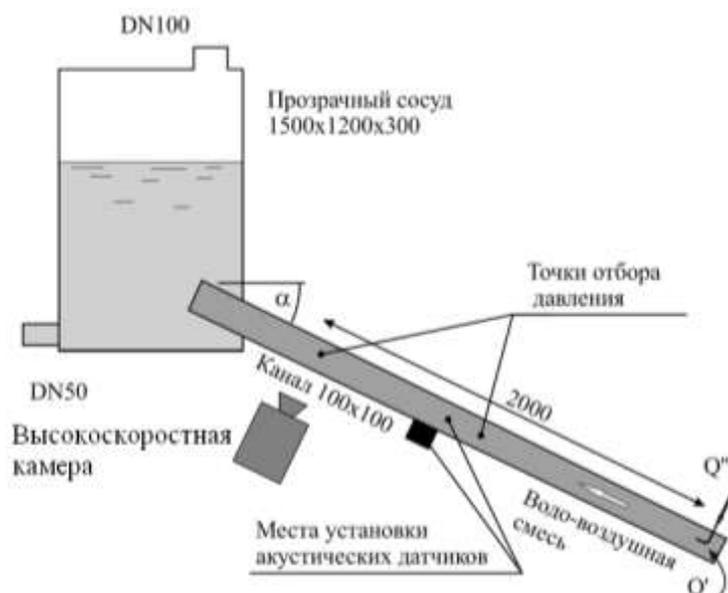


Рис. 2– Схема стенда при выполнении канала с изменяемым углом наклона к горизонту.

Канал и бак выполнены из прозрачного материала (оргстекла). Для измерения параметров двухфазной среды на канале предусмотрены места для установки акустических средств измерений, разработанных на кафедре «ЯР и ЭУ» Нижегородского Государственного Технического Университета им. Р.Е. Алексеева [6].

В них входят:

1. Средства измерения газосодержания водо-воздушной смеси (0-0,6) и скорости движения газовых включений (0-3 м/с):

- измерение истинного объемного локального газосодержания в различных точках заданного сечения контролируемого канала;
- измерение истинного объемного среднего по сечению контролируемого канала газосодержания;
- измерение характерных размеров газовых включений (диаметры отдельных воздушных пузырей);
- измерение скорости движения газовых включений в воде в различных точках заданного сечения контролируемого канала;

2. Средства измерения скорости движения воды:

- измерение профиля скорости движения воды в сечении исследовательского канала или от стенки канала до границы с газовой областью (0-3 м/с).

Средства измерения газосодержания водо-воздушной смеси и скорости движения газовых включений основаны на методе акустического зондирования с восемью зондами, размещенными на передвижной гребенке.

Средства измерения скорости движения воды включают в себя накладной доплеровский датчик, устанавливаемый на внешней стороне исследовательского канала, который основан на технологии сканирования слоя жидкости по длине ультразвукового луча.

Также предусмотрены точки отбора давления для определения газосодержания двухфазного потока, зависящего от перепада давления на исследуемом участке. Дополнительно, в состав стенда входит высокоскоростная видеокамера. С ее помощью также возможно проводить измерения скорости движения воздушной фазы в исследовательском канале и размеров отдельных пузырей воздуха.

Испытания проводятся с вертикальным расположением канала, а также с изменяемым углом (α) расположения исследуемого канала: от 0^0 до 30^0 к горизонту. Движение фаз в исследуемом канале возможно сонаправленное и противоположное. Рабочими средами являются воздух из воздушной магистрали и техническая вода. Размеры исследовательского канала, расход двухфазной среды и режимы работы максимально приближены к параметрам реальных систем безопасности.

В данной работе представлены результаты претестовых расчетов по определению истинного объемного паросодержания, как одной из основных характеристик течения двухфазной среды.

Претестовые расчеты применительно к вертикальному исполнению канала были проведены на базе двух наиболее часто встречающихся расчетных соотношений для определения истинного объемного паросодержания - Лабунцова Д.А. [1] и ЦКТИ [3]. Причем зависимости Лабунцова Д.А. распространяются на описание течения пароводяных потоков [1], в то время как корреляции, предложенные ЦКТИ носят универсальный характер и также корректны для водо-воздушных сред[2]. Дополнительно, исследуемый канал был смоделирован в программном средстве RELAP5.

На рисунке 3 представлены результаты обзора, проведенного ЦКТИ, существующих экспериментальных данных для вертикальных каналов [4, 5]. Также представлена область теплофизических параметров, охватываемых создаваемым стендом.

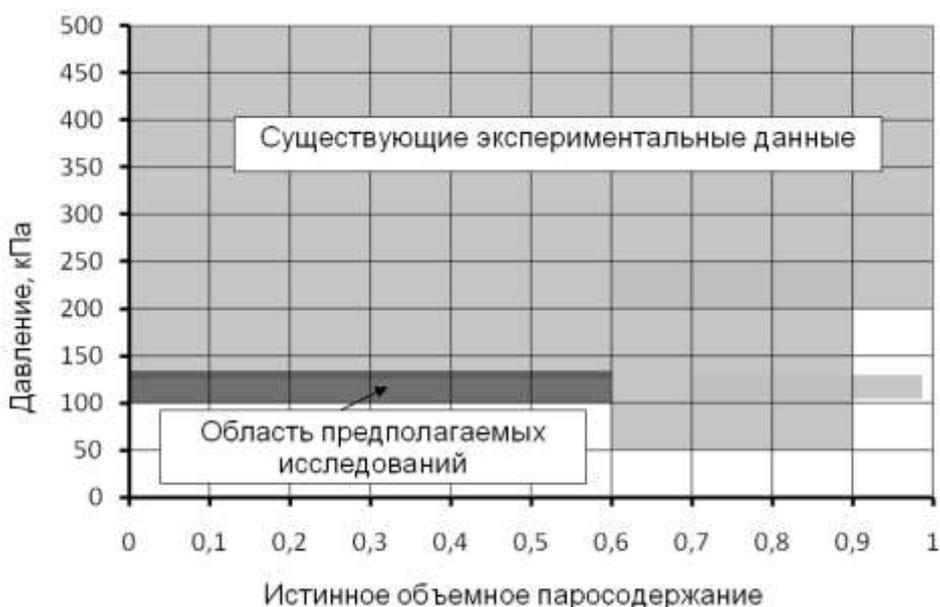


Рис. 3– Теплофизические параметры предполагаемых исследований.

Таким образом, создаваемый стенд перекрывает область теплофизических параметров, для которой отсутствуют экспериментальные данные.

В качестве предварительного анализа ожидаемых результатов, был проведен претестовый расчет для вертикального исполнения канала.

На рисунке 4 представлены результаты претестового расчета.

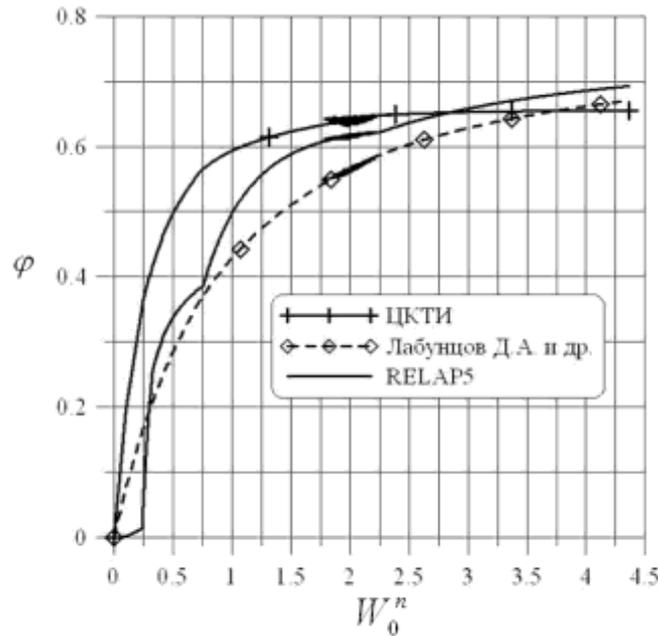


Рис. 4– Зависимости истинного объемного паросодержания от приведенной скорости пара.

В дальнейшем планируется проведение сравнительного анализа претестовых расчетов с экспериментальными данными для вертикального исполнения исследуемого канала, а также проведение исследований для наклонного и горизонтального исполнений.

Список литературы:

1. Лабунцов Д.А., Корнюхин И.П., Захарова Э.А. Паросодержание двухфазного адиабатного потока в вертикальных каналах. Теплоэнергетика, 1968, № 4, с. 62-67.
2. Светлов С.В. «Гидродинамические характеристики тепловыделяющих сборок водоохлаждаемого ядерного реактора при низких скоростях циркуляции теплоносителя». Автореферат кандидатской дис. АООТ НПО ЦКТИ, СПб, 1998, 26с.
3. Алексеев С.Б., Илюхин Ю.Н., Кухтевич В.О., Парамонова И.Л., Светлов С.В., Сидоров В.Г. Истинное объемное паросодержание в вертикальных трубах в условиях барботажа. Теплофизика высоких температур, 1999, том 37, № 4, с. 620-626.
4. Лычаков В.Д., Ильин В.А., Ляпин Н.В., Соколов А.Н. Методика расчета высоких значений истинного объемного паросодержания в вертикальных трубах. МНТК «Эксперимент 2010», 19-20 мая 2010г., Н.Новгород, ОАО «ОКБМ Африкантов».
5. Бадунов Б.Ф., Щеглов А.А., Ильин В.А., Сайкова Е.Н., Большухин М.А., Бых О.А., Хизбуллин А.М., Соколов А.Н. Экспериментальное обоснование проекта системы аварийного расхолаживания реакторной установки КЛТ-40С плавучей атомной теплофикационной электростанции. Теплоэнергетика, 2011, №5, с. 55-60.
6. Мельников В. И., Дробков В. П., Контелев В. В. Акустические методы диагностики газожидкостных потоков. - М. : Энергоатомиздат, 2006. – 352 с.

А. В. Медведев д.ф.-м.н., П. Н. Победаш к.ф.-м.н.

Кемеровский государственный университет, математический факультет
кафедра высшей математики
Россия, г. Кемерово
alexm_62@mail.ru, pobed_pnp@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП
"Развитие научного потенциала высшей школы" (НИР 2.1.1/2710).

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ «ПРОИЗВОДИТЕЛЬ – НАЛОГОВЫЙ ЦЕНТР»

На основе операционного исчисления и двухкритериальной динамической модели экономической системы (ЭС) «производитель – налоговый центр» предложена ее агрегированная модель. На модельных данных с использованием пакета прикладных программ (ППП) произведен численный асимптотический анализ эффективности инвестиционного проекта, описываемого указанной агрегированной моделью. Полученные результаты позволяют лицу, принимающему решения (ЛПР), оценивать инвестиционную привлекательность проекта развития рассмотренной ЭС как на конечном, так и на бесконечном горизонтах планирования.

Ключевые слова: инвестиционный проект, пакет прикладных программ.

При многокритериальной оценке эффективности ИП выделяют стадию предварительного анализа, на которой ЛПР достаточно классифицировать его как заведомо неприемлемый либо принять к дальнейшему рассмотрению для более детального анализа. Первичная классификация ИП требует значительно меньше вычислительных ресурсов, позволяя повысить обоснованность принятия инвестиционного решения на этапе предварительной оценки эффективности проектов с учетом интересов нескольких лиц. Оптимизационные модели функционирования современных многоименных производственных систем характеризуются большой размерностью, поэтому оценка инвестиционной привлекательности ИП развития указанных экономических систем даже на стадии их предварительного анализа практически невозможна без использования ППП.

В данной статье реализован асимптотический подход к анализу моделей развития экономических систем (ЭС) на базе ППП, продемонстрированный на примере следующей задачи, которую назовем задачей A [1]. Производитель обладает начальными денежными средствами, планируя организовать производство n видов продукции, пользующейся спросом, купив активные основные производственные фонды (ОПФ) – станки, оборудование и т. п. n производственных подразделений. Требуется найти оптимальные суммы, выделяемые на приобретение ОПФ, а также выручку от реализации продукции каждого вида в фиксированные моменты времени и объем инвестиций, при которых суммарные чистые дисконтированные денежные потоки производителя и налогового центра (НЦ) за период T действия ИП максимальны, где оптимальность понимается в смысле Парето.

Далее представлены результаты численного исследования асимптотических свойств, когда параметр $T \rightarrow +\infty$, следующей агрегированной модели Z_{TA}

$$\begin{aligned} U_{n+k} \leq Q_k, \quad U_{n+k} \leq \delta_k U_k / r \quad (k=1, \dots, n), \quad -\sum_k \alpha_k U_k - r(\gamma \sum U_{n+k} + U_{2n+1} + u_{2n+2}(0)) \leq 0, \\ \sum_k \beta_k U_k - r \gamma \sum U_{n+k} \leq 0, \quad U_{2n+1} \leq I_0, \quad u_{2n+2}(0) \leq K_0, \quad U_k \geq 0 \quad (k=1, \dots, 2n+1), \quad u_{2n+2}(0) \geq 0; \quad (1) \end{aligned}$$

$$J'(\mu)=[(1-2\mu)/r^2]\sum \dot{\gamma}_k U_k + [\mu\gamma + (1-\mu)\rho]\sum U_{n+k} - \mu[U_{2n+1} + u_{2n+2}(0)] \rightarrow \max(\mu \in (0;1)), \quad (2)$$

полученной применением к многошаговой задаче A оператора $Z_T(x(t))=X(z,T)=\sum x(t)z^{-t}$ ($z \neq 0$) при $z=1+r$, где r – ставка доходности ИП, а суммирование производится для $k=1, \dots, n$ и $t=0, \dots, T-1$ соответственно. Здесь $u_k(t)$ ($t=0, \dots, T-1$), $u_{n+k}(t)$ ($k=1, \dots, n; t=T^2, \dots, T-1$), $u_{2n+1}(t)$ ($t=0, \dots, T^1-1$) – стоимость приобретаемых ОПФ, выручка от реализации продукции k -го типа и внешние инвестиции соответственно в момент t ; $U_k = \sum u_k(t)z^{-t}$ – Z_T -изображения соответствующих динамических переменных, где z, T опущены для краткости; $u_{2n+2}(0)$ – внутренние инвестиции в момент $t=0$; $\alpha_k = \alpha_3/T_k + \theta[1/(rT_k) - 1] - r$, $\beta_k = (1 - \alpha_3)/T_k + \theta[1 - 1/(rT_k)]$, $\gamma_k = [\alpha_3/T_k - \theta]r + \theta/T_k$ ($k=1, \dots, n$), n – количество видов ОПФ; $\alpha_1=0$ – ставка налога на добавленную стоимость (т.к. включается в стоимость продукции); $\alpha_2=0.02$ – ставка налога на имущество (НИ); $\alpha_3=0.24$ – ставка налога на прибыль; $\alpha_4=0.26$ – ставка единого социального налога (ЕСН); $\beta=0.05$ – доля отчисления от доходов производителя в фонд оплаты труда (ФОТ); I_0, K_0 – суммы внешних и внутренних инвестиций, выделяемых на реализацию проекта; T – горизонт планирования; T^1, T^2 – моменты окончания инвестиций и начала производства; $\delta_k = P_k V_k / c_k$, T_k – максимальные фондоотдачи и сроки службы k -го ОПФ; $q_k(t+1)$ ($k=1, \dots, n; t=T^2, \dots, T-1$) – прогнозный спрос в стоимостной форме на производимую продукцию k -го типа в момент $t+1$; V_k, c_k и P_k ($k=1, \dots, n$) – производительность и стоимость ОПФ k -го типа, а также стоимость единицы производимой на нем продукции; $Q_k = \sum q_k(t+1)z^{-t}$ ($k=1, \dots, n$) – агрегированный спрос на продукцию k -го типа, где суммирование по $t = T^2, \dots, T-1$; $\gamma = (1 - \alpha_3)(1 - \beta)$, $\rho = (1 - \beta)\alpha_3 + \beta\alpha_4$.

В силу предпосылки $T < T_k$ ($k=1, \dots, n$), увеличение параметра T влечет и рост наименьшего из сроков полезного действия ОПФ $T = \min(T_1, \dots, T_n)$.

Далее приводятся постоянный спрос $q_k(t+1)$ ($k=1, \dots, n; t=T^2, \dots, T-1$), а $V_k=1, c_k=1$, т.к. для варьирования параметра δ_k достаточно менять, например, P_k .

Пример. Исходные модельные данные, использованные в численных расчетах данного примера по модели Z_{TA} с применением пакета прикладных программ (ППП), представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для задачи Z_{TA}

n	I_0	K_0	P_1	P_2	T	T^1	T^2	$q_1(t)$	$q_2(t)$	Q_1	Q_2	r
2	70	30	0.14	0.65	5	1	1	10	15	37.908	56.862	0.1

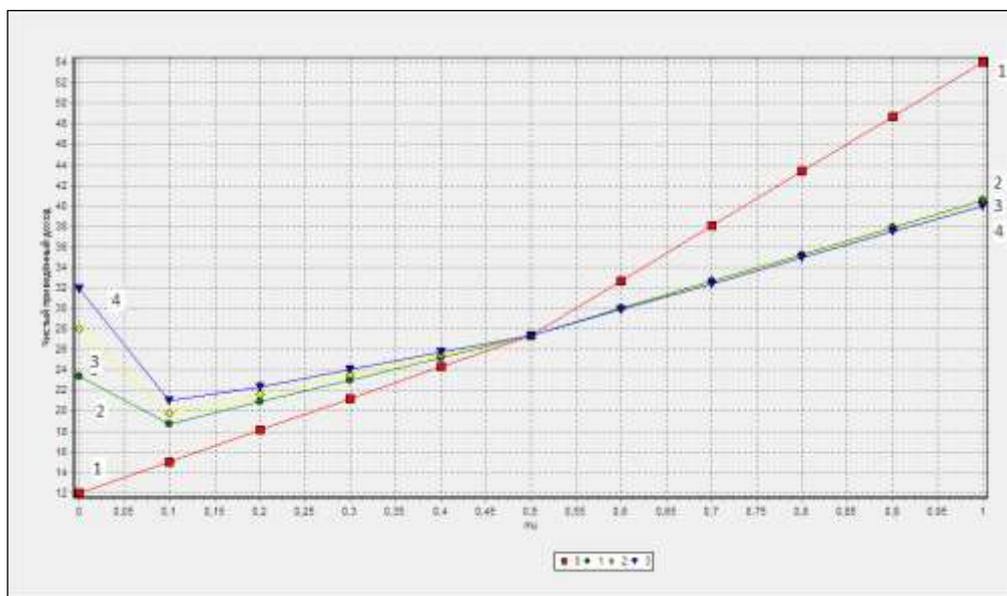
Из таблицы 2, в которой приведены оптимальные значения свертки

Таблица 2 – Зависимость оптимального значения свертки $J^*(\mu)$ критериев задачи Z_{TA} от сроков службы ОПФ T_1, T_2 при $\mu=0.1, 0.5, 0.9$

$(\mu=0.1) T_1/T_2$	10	30	100	500	1000	ZA
10	25.498	27.710	31.916	33.284	33.678	
30	27.347	28.541	32.680	34.026	34.418	
100	31.467	32.563	32.947	34.285	34.677	
500	32.808	33.874	34.274	34.374	34.766	
1000	33.199	34.262	34.633	34.761	34.777	
ZA						35.176
$(\mu=0.5) T_1/T_2$	10	30	100	500	1000	ZA
10	45.632	45.632	45.632	45.632	45.632	
30	45.632	45.632	45.632	45.632	45.632	
100	45.632	45.632	45.632	45.632	45.632	
500	45.632	45.632	45.632	45.632	45.632	

1000	45.632	45.632	45.632	45.632	45.632	
ZA						45.632
$(\mu=0.9) T_1/T_2$	10	30	100	500	1000	ZA
10	81.151	79.547	78.985	78.793	78.769	
30	80.034	63.696	63.270	63.123	63.105	
100	79.643	63.399	62.972	62.826	62.808	
500	79.509	63.297	62.871	62.724	62.706	
1000	79.492	63.285	62.858	62.712	62.693	
ZA						62.662

$J^*(\mu) = \mu J^*_{1} + (1-\mu) J^*_{2}$ критериев задачи (1), (2) для различных сроков службы производственных активов T_1, T_2 , нетрудно заметить, что при фиксированном μ , начиная с некоторого значения $\underline{T} = \min(T_1, T_2)$, значения отмеченной свертки практически не меняются. Например, для $\mu=0.1$ это значение $\underline{T}=1000$, а для $\mu=0.9$ – $\underline{T}=100$. При $\mu=0.5$ оптимальное значение свертки $J^*(\mu)$ вообще не зависит от параметра \underline{T} , что согласуется с выражением (2). На пересечении последней строки и столбца указанной таблицы (см. пометку ZA) размещено оптимальное значение свертки $J^*(\mu, z)$ задачи ZA, исследованной в [1]. Данный пример иллюстрирует, что оптимальное значение $J^*(\mu, z)$ свертки критериев в модели ZA является предельным значением свертки $J^*(\mu)$ задачи (1), (2) при $T \rightarrow +\infty$: $J^*(\mu) \rightarrow J^*(\mu, z)$. Последнее соотношение также иллюстрируется рисунком 1, где графики 1-4 зависимости оптимального значения свертки $J^*(\mu)$ от параметра $\mu \in [0; 1]$ соответствуют значениям сроков службы ОПФ $T_1=T_2=10, 50, 100, 1000$. Из упомянутого рисунка, как и из таблицы 2, видно, что



1 (7.81;13.31)

Рис. 1 – Графики 1-4 зависимости оптимального значения свертки $J^*(\mu)$ модели ZA от $\mu \in [0; 1]$ при $T_1=T_2=10, 50, 100, 1000$ соответственно.

с увеличением срока службы ОПФ график стремится к предельному положению, когда $T \rightarrow +\infty \Rightarrow \underline{T} \rightarrow +\infty$, близкому к графику 4.

Вид Парето-множеств в пространстве критериев J^*_{1}, J^*_{2} в зависимости от сроков службы ОПФ $T_1=T_2=10, 50, 100, 1000, +\infty$ представлен на рис. 2. Из последнего рисунка

следует, что с возрастанием значений T_1, T_2 множество Парето из отрезка при $T_1=T_2=10$ преобразуется в двухзвенную ломаную уже для $T_1=T_2=5$, угол между звеньями которой увеличивается с ростом срока действия ОПФ, достигая своего максимального значения для предельного случая $T_1=T_2=+\infty$, соответствующего фронту Парето в модели ЗА.



2 (6.69;14.66)

Рис. 2 – Зависимость Парето-множеств агрегированной модели Z_{TA} в пространстве критериев J_1^* , J_2^* от сроков службы ОПФ $T_1=T_2=10, 50, 100, 1000, +\infty$ соответственно.

Полученные результаты дают возможность ЛПР (экономисту-практику, финансовому и инвестиционному аналитику) оценивать инвестиционную привлекательность проекта развития рассмотренной экономической системы как на конечном, так и на бесконечном горизонтах планирования.

Список литературы:

1. *Медведев А.В., Победаш П.Н.* Численный параметрический анализ модели эффективного экономического развития системы «производитель – налоговый центр» // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 5. – С. 184-189.

В. Ю. Мельцов к.т.н., Г. А. Чистяков

Вятский государственный университет
кафедра электронных вычислительных машин
Россия, г. Киров
meltsov69@mail.ru

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРЫ КРИПКЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ

В работе представлены результаты разработки одного из модулей системы верификации параллельных алгоритмов, использующей для верификации аппарат логического вывода. Данный модуль выполняет построения структуры Крипке, эквивалентной заданному параллельному алгоритму. Модуль имеет расширяемую архитектуру, что позволяет синтезировать структуры Крипке для алгоритмов, разработанных для различных типов вычислительных систем.

Ключевые слова: атомарный предикат, структура Крипке, верификация, параллельный алгоритм.

В настоящее время все более актуальной становится проблема верификации алгоритмов. Некорректный алгоритм рано или поздно приведет к сбою в работе системы, что может повлечь за собой большие финансовые потери и даже человеческие жертвы. Особые трудности вызывает верификация параллельных алгоритмов, поскольку в этом случае возникает целый класс новых ошибок, связанных с взаимодействием потоков друг с другом.

Используемый метод верификации параллельных алгоритмов относится к методам формальной верификации, лишенных недостатков, присущих тестированию и имитационному моделированию[1]. В отличие от привычного тестирования данный подход позволяет однозначно установить корректность или некорректность алгоритма. Такой результат становится возможным благодаря рассмотрению всевозможных цепочек состояний алгоритма и поиску контрпримера – одной из цепочек, приводящих к ошибочному состоянию системы (взаимоблокировка потоков, ошибка синхронизации по доступу к данным и т.д.).

Математической основой используемого метода формальной верификации является теория автоматов. Сама процедура верификации базируется на использовании сочетания темпоральной логики линейного времени и автомата Бюхи. При этом данные алгоритмы обладают экспоненциальной сложностью.

Архитектура разрабатываемой системы представлена на рис.1.

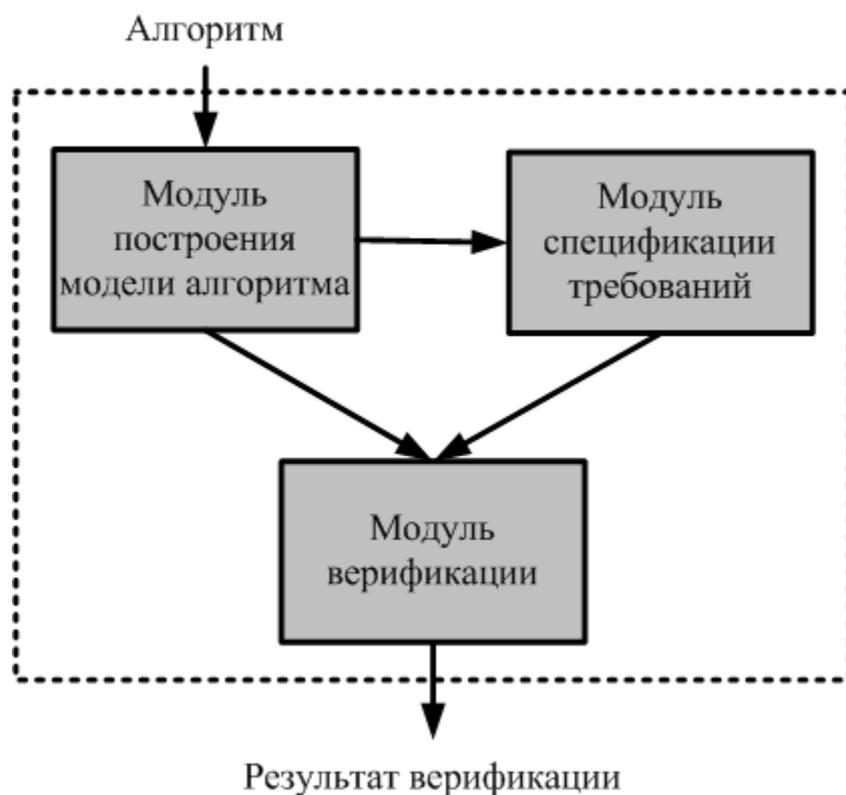


Рис. 1 – Общая структура системы верификации.

Модуль построения модели предназначен для построения формальной модели заданного параллельного алгоритма на основе структуры Крипке.

Модуль спецификации требований позволяет задать требование, выполнимость которого необходимо проверить в процессе верификации. Классической математической логики недостаточно для задания свойств поведения системы во времени, поэтому для спецификации требований используется одно из расширений обычной логики – темпоральная логика линейного времени [2]. Темпоральная логика в дополнение к логике высказываний использует временные кванторы. Таким образом классической логике придается необходимая гибкость, и истинность утверждений начинает зависеть от времени.

Модуль верификации выполняет проверку того, удовлетворяют ли модель алгоритма формальным спецификациям. Проверка выполняется с помощью дедуктивного метода логического вывода и заключается в доказательстве гипотезы, существует ли на заданной модели такая траектория поведения, при которой заданная формула выполнима.

Структура модуля построения модели алгоритма приведена на рис.2.

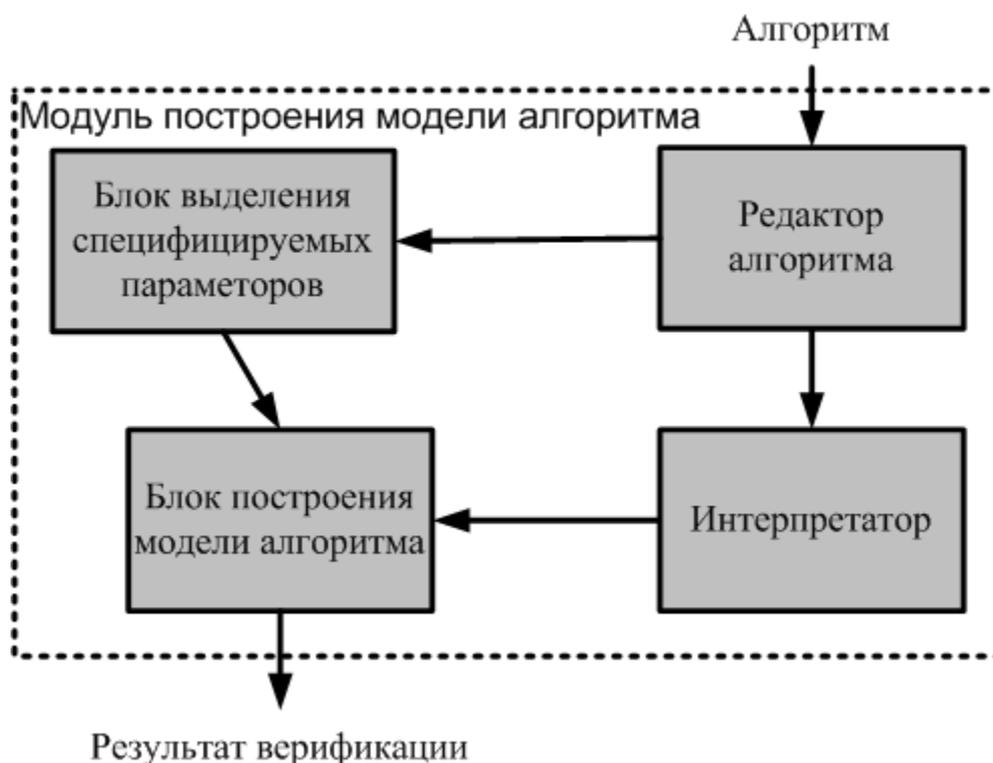


Рис. 2 – Структура модуля построения модели алгоритма.

Основными элементами модуля являются редактор алгоритма, блок выделения специфицируемых параметров, интерпретатор и собственно блок построения модели алгоритма.

Описание алгоритма пользователем выполняется в блоке редактора алгоритма с помощью специально разработанного языка с С-подобным синтаксисом. Такой способ описания предпочтительнее традиционных блок-схем и сетей Петри, так как позволяет оперировать алгоритмами большего объема, имеет меньший порог вхождения и является более понятным для людей, знакомых с основами программирования.

Блок выделения специфицируемых параметров предназначен для определения множества используемых атомарных предикатов. В блоке выполняется предварительная проверка отдельных участков описания алгоритма и определение пары объект-событие, каждой из которых присваивается уникальная метка. При необходимости определяются правила образования новых меток из композиции уже описанных. Множество данных меток образует конечное множество атомарных предикатов структуры Крипке, эквивалентной алгоритму.

Интерпретатор осуществляет полную проверку описания алгоритма и выявляет все допущенные синтаксические ошибки. На выходе блока формируется лог всех допущенных ошибок с указанием их точного места расположения. Синтаксический анализ выполняется с использованием форм Бэкуса-Наура. Соответствие описания алгоритма грамматике определяется предиктивным анализатором [3].

Блок построения модели алгоритма преобразует описание параллельного алгоритма в эквивалентную ему структуру Крипке. Преобразование выполняется в четыре этапа: разметка описания, построение структуры Крипке для отдельных процессов, построение дерева порядка выполнения процессов, построение композиции структур Крипке. На этапе разметки описания алгоритма выполняется сопоставление выделенных атомарных предикатов операторам алгоритма. При этом на первой стадии операторам сопоставляются базовые предикаты (заданные непосредственно парами объект-событие). На второй стадии к

базовым предикатам применяются правила преобразования, а операторам алгоритма сопоставляются предикаты, образованные композицией базовых атомарных предикатов. Построение структуры Крипке отдельных процессов выполняется путем составления графа, соответствующего траектории процесса. В качестве отметок состояний структуры используется множество атомарных предикатов, построенное на предыдущем этапе. Дерево порядка выполнения процессов необходимо для получения асинхронной композиции структур Крипке независимых процессов. Его построение выполняется с применением алгоритма синтаксического анализа описания отдельных процессов.

Алгоритм построения композиции структур Крипке отдельных процессов включает в себя пять шагов.

Программная реализация разработанного модуля имеет расширяемую архитектуру. Использование расширений позволяет решить проблемы, связанные с возникновением специфических особенностей алгоритмов, спроектированных под конкретные аппаратные платформы. Специалист имеет возможность разработки расширений, включающих в себя модификации языка описания алгоритма для поддержки специализированных особенностей различных аппаратных платформ (системы с общей памятью, системы с разделяемой памятью и т.д.).

В рамках данной работы было реализовано расширение для работы с алгоритмами, ориентированными на системы с общей памятью. Отличительными особенностями расширения являются:

- наличие примитивов для синхронизации по доступу к данным;
- поддержка произвольного порядка запуска параллельных процессов;
- поддержка возможности порождения дочерних процессов;
- синхронизация процессов.

Основным результатом работы является создание программного модуля построения структуры Крипке, эквивалентной заданному алгоритму. Для описания алгоритма применяется специально разработанный язык с C-подобным синтаксисом.

Список литературы:

1. *Карпов Ю.Г.* Model checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем / Ю.Г. Карпов – СПб., БХВ-Петербург, 2010. – 121 с.
2. *Кларк Э.М.* Верификация моделей программ. Model checking / Э.М. Кларк, О. Грамберг, Д. Пелед – Москва, МЦНМО, 2002. – 72 с.
3. *Ахо А.В.* Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий / А.В. Ахо, М.С. Лам, Р. Сети, Д.Д. Ульман – Москва, «Вильямс», 2010. – 104 с.

В. В. Морозов д.т.н.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Россия, г. Владимир
tms@vlsu.ru

МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ АВТОКОЛЕБАНИЙ

Работа посвящена анализу динамики и разработке методов управления мехатронных модулей для компенсации автоколебаний. Объектом исследования является мехатронный модуль на базе бесконтактного вентильного двигателя, в полый ротор которого встроены роликовинтовой механизм. Описаны алгоритмы компенсации нелинейностей «зазор» и «сухое трение».

Ключевые слова: мехатронный модуль (ММ), роликовинтовой механизм (РВМ), система управления (СУ), автоколебания (АК), вентильный двигатель.

Разработка мехатронных модулей (ММ) – сложная техническая задача, на решение которой накладываются многочисленные взаимоисключающие друг друга, требования к динамическим и статическим характеристикам, энергопотреблению и многим другим параметрам. ММ представляет собой целостную конструкцию на базе бесконтактного вентильного двигателя (ВД), в полый ротор которого встроены роликовинтовой механизм (РВМ), обеспечивающий поступательное выходное движение. Модуль допускает встраивание в корпус микропроцессорной системы. Динамика ММ имеет особенности, вызванные тесной связью двигателя с РВМ и компактной моноблочной конструкцией, что значительно ограничивает возможности установки дополнительных механических корректирующих устройств. Поэтому наиболее целесообразным способом компенсации автоколебаний (АК), вызванных нелинейностями, представляется синтез микропроцессорных алгоритмов управления. Моделирование динамики и анализ плавности электромеханических модулей с нелинейностями даны в работе [1]. Здесь рассматривается задача компенсации АК с помощью цифрового управления.

Известно, что механическая часть ММ является источником нелинейностей, наиболее трудно компенсируемых аналоговыми корректирующими устройствами, так и с помощью дополнительных механических или технологических мероприятий. К основным нелинейностям РВМ относятся зазор, кинематическая погрешность, нелинейная характеристика трения и самоторможение в необратимых передачах. Эти нелинейности достаточно «неудобны» для исследования приближенными методами. Поэтому моделирование динамики ММ проводится, как прямым численным решением систем дифференциальных уравнений, так и методом припасовывания, путем сшивания частных решений в точках переключения нелинейностей. Такой «полуаналитический» подход позволяет получать приближенные оценки основных характеристик автоколебательных режимов.

Система уравнений динамики ММ поступательного перемещения, состоящего из РВМ и ВД, имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{v}_1 = \frac{v_0 \left(u_{\text{упр}}(x_1, v_1, x_2, v_2, t) - \frac{S_X [c f_{\text{л}}(x_1 - x_2) + b \dot{f}_{\text{л}}(v_1 - v_2)]}{M_{\text{п}}} \right) - v_1}{T_1}, \\ \dot{v}_2 = \frac{c f_{\text{л}}(x_1 - x_2) + b \dot{f}_{\text{л}}(v_1 - v_2) - f_{\text{т}}[v_2, c f_{\text{л}}(x_1 - x_2) + b \dot{f}_{\text{л}}(v_1 - v_2)]}{m_2}. \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения (1) составлены для двухмассовой модели: первая масса (ведущее звено РВМ) жестко связана с валом ВД и описывается фазовыми переменными $x_1 = S_X \varphi_1$ и $v_1 = \dot{x}_1 = S_X \omega_1$; состояние второй массы (нагрузки) определяется переменными x_2 и $v_2 = \dot{x}_2$; v_0 – идеальная скорость скольжения; S_X – кинематическая передаточная функция РВМ; $u_{\text{упр}}(x_1, v_1, x_2, v_2, t) = U_{\text{упр}}/U_{\text{ном}}$ – управление на входе ВД; c – коэффициент упругости; b – коэффициент демпфирования; $M_{\text{п}}$ – пусковой момент ВД; T_1 – электромеханическая постоянная времени; m_2 – масса 2-го звена. В модели присутствуют две нелинейности:

– функция типа «зона нечувствительности» $f_{\text{л}}$, моделирующая зазор в РВМ:

$$f_{\text{л}}(\Delta x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\Delta x| \leq \Delta_{\text{л}}, \\ \Delta x - \Delta_{\text{л}} \text{sign}(\Delta x), & \text{если } |\Delta x| > \Delta_{\text{л}}, \end{cases}$$

где $\Delta_{\text{л}}$ – половина зазора в передаче;

– сила трения с экспоненциальной кинетической характеристикой $f_{\text{т}}$:

$$f_{\text{т}}(v, F) = \begin{cases} \min(F_{\text{п}}, |F|) \text{sign} F, & \text{если } v = 0, \\ [F_{\text{п}} - (F_{\text{п}} - F_{\text{дв}}) \exp(-v_{\text{т}}/|v|)] \text{sign} v, & \text{если } v \neq 0, \end{cases}$$

где v – скорость звена; F – равнодействующая внешних сил, приложенных к звену; $F_{\text{п}}$ – сила трения покоя; $F_{\text{дв}}$ – установившаяся сила трения скольжения; $v_{\text{т}}$ – скорость установления трения.

При наличии зазора система (1) является кусочно-линейной: при выбранном зазоре система замкнута, и передача потоков мощности между массами осуществляется как в обычном приводе. Если зазор не выбран, то связь входного и выходного звеньев разрывается, и они движутся независимо. При окончании выборки происходит удар звеньев, и если демпфирование мало, а разница скоростей звеньев в момент удара велика, то связь звеньев вновь может разорваться: в системе возникают релаксационные колебания. Если демпфирование в системе очень велико, то происходит абсолютно неупругий удар, после которого массы начинают двигаться совместно. Если же демпфирование недостаточно велико, то происходит неупругий удар, при котором массы теряют часть своей кинетической энергии и в системе устанавливаются несимметричные автоколебания (АК). При наличии трения в системе (1), работающей на низких скоростях, возникают фрикционные АК. Наиболее перспективным направлением синтеза ММ является синтез алгоритмов микропроцессорных СУ. Такие системы могут реализовывать любой, сколь угодно сложный закон управления, тем самым, реализуя экстремали функционала качества. Задача синтеза закона управления ММ формулируется следующим образом. Требуется определить такой закон управления u ММ, который обеспечивают минимум функционала

$$I(u) = \sum_k c_k I_k(u) \rightarrow \min \quad \text{при ограничениях } f_n(u) \leq \Delta_n. \quad (2)$$

Число и вид ограничений определяются исходя из требований, предъявляемых к ММ по быстродействию, энергопотреблению, массе, габаритам и т.д. Весовые коэффициенты c_k

функционалов качества $I_k(u)$ также зависят от особенностей условий эксплуатации и требований к качеству выходного перемещения.

Синтез законов управления осуществляется исходя из условия минимизации функционала (2) и из задачи максимального быстродействия алгоритма (что фактически приводит к задаче нахождения моментов переключения управления $u = \pm 1$). Алгоритмическая реализация законов управления осуществляется графоаналитическими методами.

Задачей управления в системе с зазором является наискорейшая выборка зазора таким образом, чтобы по окончании выборки в момент соединения звеньев не происходило удара.

Алгоритм выборки зазора выглядит следующим образом.

1. Определяется, выбран зазор или не выбран. Сравниваются показания датчиков положения (x_1^0, x_2^0) с условием $|x_1^0 - x_2^0| < \Delta_{\text{Л}}$.

2. Вычисляется время переключения τ^* с одной траектории на другую. Оно определяется из равенства скоростей звеньев в момент окончания выборки зазора τ : $v_1(\tau) = v_2(\tau)$. Время выборки τ , в свою очередь, находится из условия пересечения решений $x_1(\tau)$ и $x_2(\tau) = x_2^0 + v_2^0 \tau + \Delta_{\text{Л}}$. В зависимости от соотношения величин τ и τ^* алгоритм идет по одному из трех вариантов: а) если $\tau^* \leq 0$, то программа пропускает следующий шаг 3, сразу переходя на шаг 4; б) если $\tau^* \geq \tau$, то выполняется только шаг 3 до полной выборки зазора; в) если $0 < \tau < \tau^*$, то последовательно выполняются шаги 3 и 4.

3. Разгон ВД (до момента переключения на другую траекторию): до тех пор пока $t < \tau^*$, разгон ВД происходит с помощью управления напряжением $u_{\text{упр}} = 1$.

4. Торможение ВД (после переключения): при $t = \tau^*$ происходит переключение на сигнал $u_{\text{упр}} = -1$, задающий торможение двигателя до момента $t = \tau$ окончания выборки зазора.

Если алгоритм шел по ветви в, то в момент полной выборки зазора τ звенья имеют одинаковую скорость и удар не происходит. При выполнении ветви а или б ведущее звено привода может не успеть достичь в момент τ требуемой скорости v_2^0 . Тогда при соприкосновении звеньев происходит удар и возможно новое размыкание звеньев. В этом случае программа возвращается к шагу 1 и определяет, выбран зазор или нет. При необходимости приведенная последовательность шагов повторяется.

Алгоритм компенсации фрикционных АК основан на обратной связи по скорости скольжения выходного звена v_2 . В отличие от традиционной линейной обратной связи, когда управляющее напряжение пропорционально величине рассогласования, алгоритм работает по нелинейному закону. Точные зависимости $u_{\text{упр}} = f(v_2)$ зависят от вида нелинейности (3). Суть алгоритма объясним на примере задачи стабилизации $v_2 \rightarrow v_0 = \text{const} > 0$. Пока $v_2 = 0$ $u_{\text{упр}} = 1$ (или даже с некоторым форсированием $u_{\text{ф}} > 1$). В момент страгивания, если $v_2 < v_0$, то форсирование продолжается по закону $u_{\text{упр}} = f_1(v_0 - v_2)$, так что после некоторого монотонного переходного процесса устанавливается $v_2 = v_0$. Если в момент страгивания $v_2 > v_0$, то торможение ВД противовключением $u_{\text{упр}} = -f_2(v_0 - v_2)$, и при снижении скорости до определенного порогового значения $v_2 = v_0 + \Delta v$, вновь происходит переключение $u_{\text{упр}} = f_3(v_0 - v_2)$, приводящее к монотонной стабилизации $v_2 = v_0$.

Список литературы:

1. *Морозов В.В., Костерин А.Б., Новикова Е.А.* Плавность динамических звеньев электромеханических приводов. – Владимир: ВлГУ, 1999. – 158 с.

Ю. А. Новиков

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет
Архитектурно-строительный факультет, кафедра строительных конструкций
Россия, г. Тюмень
adf@tgasu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЛИНИСТОГО ОСНОВАНИЯ, УСИЛЕННОГО ПЕСЧАНЫМ АРМИРОВАННЫМ МАССИВОМ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния водонасыщенного глинистого основания, усиленного песчаным армированным массивом. На основе экспериментальных исследований дана оценка эффективности использования песчаного армированного массива для повышения несущей способности водонасыщенного глинистого основания.

Ключевые слова: песчаный массив, армированный, напряженно-деформированное, экспериментальные, грунт, несущая способность, геосетка.

Территория Западной Сибири характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, где распространены водонасыщенные глинистые грунты. Возведение объектов на таких грунтах требует применения дорогостоящих материалов, конструкций и технологий, что приводит к значительному повышению материальных и трудовых затрат на устройство фундаментов. Исследования способов повышения несущей способности слабых оснований путём реализации новых схем укрепления и армирования грунтов является весьма актуальной задачей. Армирование как способ укрепления основания, получило широкое применение в строительстве. Понятие «армированный грунт», официально признанное и запатентованное, пришло из 60-х годов XX века, и было разработано французским инженером Анри Видалем.

Целью исследования являлось экспериментальное обоснование повышения несущей способности водонасыщенного глинистого основания за счёт внедрения песчаного армированного массива.

Рассматривались следующие варианты основания: естественное водонасыщенное глинистое основание (без укрепления); основание, усиленное песчаным армированным массивом диаметром 200 мм, с соотношением диаметра d к высоте h 1/3, 1/4, 1/5.

Сопоставление результатов экспериментов, полученных в идентичных условиях, позволило отразить качественную картину исследуемого объекта, так как случайные факторы, влияющие на результат проведения экспериментов, оказывают равнозначное воздействие на серию сопоставляемых опытов.

На основании проведенных экспериментов [1] было выявлено, что оптимальное отношение диаметра d к высоте h составляет 1/4.

Эксперименты проводились на грунтовых моделях в металлическом лотке с абсолютно жесткими стенками и дном с размерами в плане 1400×1400мм и высотой 1700мм. Для устранения трения грунта о стенки лотка, на внутреннюю стенку лотка с помощью технического вазелина внахлест наклеивались два слоя легкодеформированной полиэтиленовой пленки. Наличие смазки между пленками и стенками лотка позволяло испытываемому грунту совместно с пленками перемещаться под действием нагрузки, в

результате чего достигался требуемый эффект. Эксперименты проводились на маломасштабных моделях.

Применение модельных испытаний возможно при использовании метода расширенного подобия, в котором выдерживаются геометрические, механические и силовые аналогии с реальным объектом [2]. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 1.



Рис. 1 – Общий вид экспериментальной установки.

В качестве грунта основания в моделях использовался водонасыщенный суглинок нарушенной структуры, который послойно укладывался в лоток. На каждый слой высотой 200 мм прикладывалась нагрузка равная весу вышележащих слоев для обеспечения однородной структуры грунта. Высота основания была принята $H = 1600\text{мм}$. Физико-механические характеристики грунта приведены в табл. 1.

Таблица 1- Физико-механические характеристики грунта.

Удельный вес грунта кН/м ³	Естественная влажность, %	Пластичность			Показатель текучести, %	Плотность сухого грунта, г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Коэффициент пористости, д.ед.	Степень водонасыщения, д.ед.	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
		Предел текучести, %	Предел раскатывания, %	Число пластичности, д.ед.								
19,4	28,4	27,0	12,0	15,0	0,9	1,53	2,7	0,77	0,95	17	0,18	2,06

Устройство песчаного армированного массива происходило одновременно с укладкой грунта. Физико-механические характеристики песка приведены в табл. 2.

Таблица 2- Физико-механические характеристики песка.

Удельный вес грунта, кН/м ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Коэффициент пористости, д.ед.	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, МПа	Модуль деформации, МПа
18,6	1,48	2,65	0,8	31	0,015	13,9

По периметру массив армировался современным геосинтетическим материалом (геосеткой), изготовленным из стекловолокна, пропитанного комплексным полимерным составом, а так же нетканым материалом «Дорнит». Технические характеристики геосинтетического материала приведены в табл. 3.

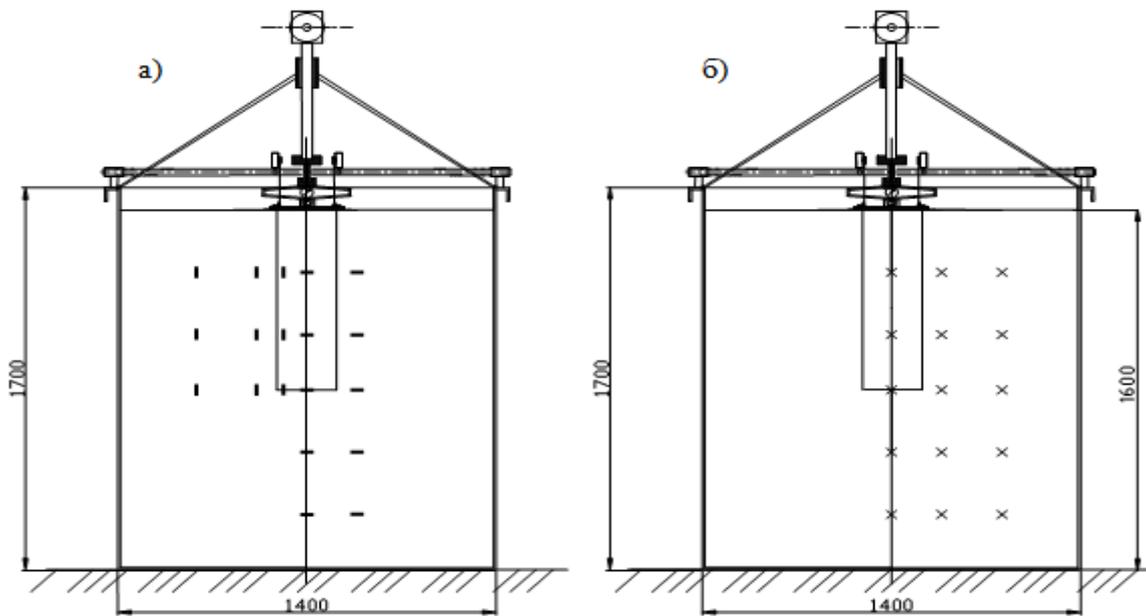
Таблица 3- Технические характеристики геосинтетического материала.

Марка геосетки	Прочность на разрыв, кН/м		Размер ячейки, мм	Ширина рулона, см	Длина рулона, м
	Вдоль	Поперек			
ССП 30/30-2,5(150)	30	30	2,5	300	100

Нагрузка на грунтовое основание передавалась при помощи редуктора через металлический диск (штамп) толщиной 10мм, диаметром $d = 277\text{мм}$.

Во время послойной загрузки грунта одновременно устанавливались датчики для измерения общих давлений на горизонтальных и вертикальных площадках (мессдозы), изготовленные по методике, предложенной А.В. Голли [3]. Для регистрации показаний датчиков использовался автоматический электронный измеритель деформаций ИТЦ – 01.

Деформации массива грунта измерялись при помощи глубинных марок, которые устанавливались на проектную глубину при помощи внедряющей металлической трубки. Струна, фиксирующая перемещение марки, погружалась в основание на проектную отметку в легкодеформируемой полиэтиленовой трубке, которая обеспечивала снижение сил трения, возникающих между грунтом и струной. Контроль осадки штампа и глубинных марок осуществлялся при помощи измерителей перемещений с точностью измерения 0,01мм. Схема расположения грунтовых марок и мессдоз приведена на рис. 2.



**Рис. 2 - Схема расположения датчиков в грунтовом массиве:
а) датчики общего давления; б) глубинные марки.**

Нагрузка к штампу прикладывалась ступенями. Каждую ступень выдерживали до условной стабилизации деформации грунта. За критерий условной стабилизации деформации принимали скорость осадки штампа, не превышающую $0,1\text{ мм}$ за последние 2 часа. Нагрузка на массив увеличивалась до развития предельных значений осадок и при нагрузке $P = 0,199\text{ МПа}$ составила $0,12\text{ м}$. За несущую способность принималось значение нагрузки при осадке массива, равной $0,04\text{ м}$, согласно [4].

По результатам проведенных лабораторных исследований были построены графики изолиний перемещений массива грунта и изобар развития общих вертикальных напряжений в массиве грунта, усиленного песчаным армированным массивом (рис. 3.)

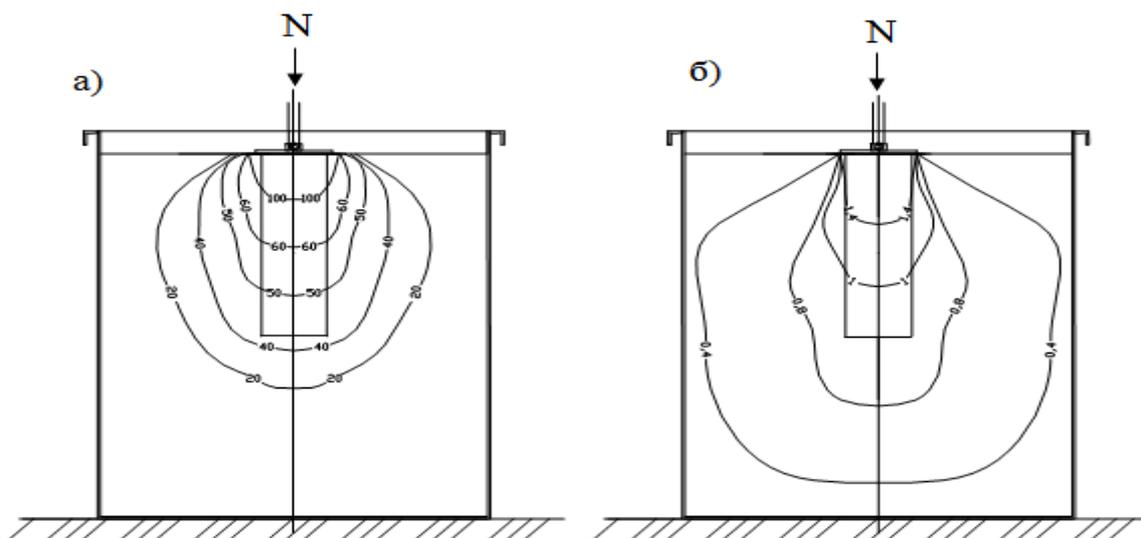


Рис. 3 - Изолинии перемещений массива грунта, усиленного песчаным армированным массивом (а); изобары развития общих вертикальных напряжений в массиве грунта, усиленного песчаным армированным массивом (б).

Комплексные экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния массива грунта, усиленного песчаным армированным массивом выявили следующие особенности работы укрепленного основания:

- при значении предельно допустимой осадки $S = 0,12м$ нагрузка на естественном водонасыщенном глинистом основании (без укрепления) составила $P = 0,12МПа$, на основании, усиленном песчаным армированным массивом составила $P = 0,19МПа$, что позволило увеличить значение нагрузки на 37%.

- нагрузка, ограниченная величиной предельной осадки штампа $S = 0,04м$, на естественном водонасыщенном глинистом основании (без укрепления) составила $P = 0,075МПа$, на основании, усиленном песчаным армированным массивом составила $P = 0,13МПа$, что привело к увеличению несущей способности основания на 43%;

- внедрение армирующего элемента по наружному периметру песчаного массива стесняет её поперечные деформации и, соответственно, уменьшает осадку за счёт снижения деформаций сжатия песчаного грунта.

Список литературы:

1. Новиков Ю.А. Экспериментально-теоретические исследования работы песчаного армированного массива в водонасыщенном глинистом грунте / Ю.А. Новиков, А.В. Минаева // Сборник Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири». – Тюмень: 2011. – С.59-65.

2. Кузнецов Г.И. Моделирование проявлений горного давления / Г.И. Кузнецов. – Л. Недра, 1968. – 276с.

3. Голли А.В. Методика измерений напряжений и деформаций в грунтах / А.В. Голли // Учебное пособие. – Л.:ЛИСИ, 1984. 53с.

4. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов» – М. ФГУП ЦПП, 2004.

Е. А. Новикова к.т.н.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Россия, г. Владимир
tms@vlsu.ru

СИНТЕЗ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПО КРИТЕРИЯМ ПЛАВНОСТИ

В статье предлагается подход и основные этапы синтеза мехатронных модулей по критериям плавности. Синтез включает в себя синтез по минимуму потребляемой энергии, качеству переходного процесса и выбор схем исполнительных механизмов. Предложены расчетные формулы и даны конкретные рекомендации по конструктивным решениям модулей.

Ключевые слова: синтез, мехатронный модуль (ММ), исполнительный механизм (ИМ), кинематическая передаточная функция (КПФ), усилительно-преобразовательное устройство (УПУ).

Синтез мехатронных модулей (ММ) по критериям плавности базируется на знании динамических характеристик проектируемой системы, так как показатели плавности представляют собой функционалы от выходного движения управляемого объекта [2]. В качестве 1-го показателя плавности положим отношение полной вариации скорости $v(t)$ на интервале $0 \leq t \leq T$ к заданному значению скорости v_0 на этом интервале

$$I_1 = \frac{\tau_0}{T} \frac{\text{Var} v}{v_0} = \frac{\tau_0}{T} \int_0^T \frac{|\dot{v}(t)|}{v_0} dt, \quad (1)$$

где $\tau_0 = H/v_0$ – характерная постоянная времени.

Второй показатель плавности определяется через полную вариацию ускорения $a(t) = \dot{v}(t)$ на интервале $0 \leq t \leq T$

$$I_2 = \frac{\tau_0^2}{T} \frac{\text{Var} a}{v_0} = \frac{H^2}{T} \int_0^T \frac{|\dot{a}(t)|}{v_0^3} dt. \quad (2)$$

Выходные характеристики $v(t)$, $a(t)$ и $\dot{a}(t)$ в общем случае определяются из системы дифференциальных уравнений динамики ММ [1]. При гармонических возмущениях $f = F \cos \omega t$ выходные характеристики определяются по передаточной функции системы относительно возмущения f :

$$v(t) = v_0(t) + V_f \cos(\omega t + \varphi_f). \quad (3)$$

где $v_0(t)$ – скорость при отсутствии возмущений; $V_f = A_f F$ – амплитуда скорости при действии возмущения f ; A_f , φ_f – амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики.

Задача синтеза ММ по критериям плавности (1) – (2) формулируется следующим образом. Требуется определить такие параметры α ММ, которые обеспечивают минимум функционала

$$I(\alpha) = k_1 I_1(\alpha) + k_2 I_2(\alpha) \rightarrow \min \text{ при ограничениях } f_n(\alpha) \leq \Delta_n. \quad (4)$$

Под синтезом ММ мы будем понимать параметрический синтез ММ, не меняющий его структуры и закона управления, и синтез параметров исполнительного механизма (ИМ) ММ, не затрагивая параметров информационного канала. Синтез ММ по критериям плавности

выходного перемещения состоит из следующих этапов: 1) силовой синтез ММ по минимуму потребляемой энергии; 2) синтез следящей системы по качеству переходного процесса; 3) выбор схемы конструктивного исполнения ИМ.

Силовой синтез ММ предполагает расчет требуемой мощности и приемистости исполнительного двигателя (ИД), выбор его типоминимала; определение схемы управления, необходимости и величины форсирования (отработки перегрузочных режимов), их длительность и тепловой режим; расчет граничных значений допустимого диапазона кинематических передаточных функций (КПФ) ИМ; расчет оптимального значения КПФ по минимуму потребляемой мощности.

Определение допустимого диапазона КПФ. Необходимым условием выполнения ММ требуемого закона является расположение нагрузочной линии $\{\omega_i(t), M_i(t)\}$ ниже прямой механической характеристики (МХ) ММ:

$$\left| \frac{\omega_H(t)}{\omega_{XX}} + \frac{M_H(t)}{M_{II}} \right| \leq \frac{|U_{\text{уп}}(t)|}{U_0}. \quad (5)$$

Поскольку условие (5) должно выполняться в любой момент времени t , то следует выбирать наиболее тяжелый режим работы [1]. С учетом формул приведения скорости и усилия нагрузки к валу ИД ($\omega_H(t) = v_H(t)/S_X$, $M_H(t) = J_1 \dot{\omega}_H(t) + S_X [F_H(t) + m_2 \dot{v}_H(t)]/\eta$) имеем

$$\max_{t \in [0, T]} \left| \frac{v_H(t) + \dot{v}_H(t) T_\mu}{S_X \omega_{XX}} + \frac{S_X [F_H(t) + m_2 \dot{v}_H(t)]}{\eta M_{II}} \right| \leq \frac{U}{U_0}. \quad (6)$$

где S_X – КПФ; T – время наблюдения (время цикла); U – амплитудное значение управляющего напряжения.

Определив t_0 , при котором достигается максимум левой части выражения (6), находим диапазон допустимых значений КПФ

$$\frac{1}{2} \frac{\eta M_{II}}{F_1(t_0) U_0} \frac{U}{U_0} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{P_H(t_0)}{P_U}} \right) \leq S_X \leq \frac{1}{2} \frac{\eta M_{II}}{F_1(t_0) U_0} \frac{U}{U_0} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{P_H(t_0)}{P_U}} \right). \quad (7)$$

где P_U – мощность ИД при напряжении U ; $P_H(t_0) = F_1(t_0) v_1(t_0)/\eta$ – мощность нагрузки; $F_1(t_0) = F_H(t_0) + m_2 \dot{v}_H(t_0)$, $v_1(t_0) = v_H(t_0) + \dot{v}_H(t_0) T_1$ – значения эквивалентной нагрузки и скорости при $t = t_0$; T_1 – электромеханическая постоянная времени.

Если номинальный режим выбранного ИД не обеспечивает требуемой мощности ($P_H(t_0) > P_{\text{ном}}$), то неравенство $P_H(t_0) \leq P_U$ диктует необходимость форсированного режима – повышения требуемого значения напряжения на выходе усилительно-преобразовательного устройства (УПУ). На рис. 1 представлена геометрическая интерпретация решения в пространстве состояний ММ $\{\omega_1/\omega_{XX}, M_1/M_I\}$. При изменении КПФ точка движется по нагрузочной линии. Если $U < U_{\phi, \text{мин}}$, то МХ лежит ниже нагрузочной кривой и диапазон КПФ пуст. Если $U = U_{\phi, \text{мин}}$, то МХ касается нагрузочной кривой в точке и диапазон допустимых значений КПФ состоит из единственной точки S_0 . Если $U > U_{\phi, \text{мин}}$, то МХ на некотором участке лежит выше нагрузочной кривой и диапазон допустимых значений КПФ представляет отрезок $[S_1, S_2]$.

Оптимизация КПФ по минимуму потребляемой мощности (ПМ). Оптимальная КПФ S_P по минимуму ПМ находится из уравнения:

$$\dot{P}_{\text{потр}}(S_P) = 0 \quad (8)$$

Полная ПМ $P_{\text{потр}}$ складывается из приведенной к валу ИД мощности нагрузки P_1 и мощности электрических потерь:

$$P_{\text{потр}} = P_1 + P_S + P_C = \frac{1}{\eta} P_H + P_{\text{эл}} \left(\frac{F_H}{\eta M_{\text{п}}} \right)^2 + P_{\text{эл}} \left(P_{\text{п}} \frac{v_H}{S_x} T_y \right)^2, \quad (9)$$

где P_S – мощность потерь синфазной составляющей токов в обмотке; P_C – мощность потерь от квадратурного тока; R_0 – сопротивление обмотки статора; p_n – число пар полюсов; T_y – постоянная времени УПУ.

Решая уравнение (8) и (9), находим оптимальное значение КПФ S_p :

$$S_p = \sqrt{P_{\text{п}} v_H T_y \frac{\eta M_{\text{п}}}{F_H}}.$$

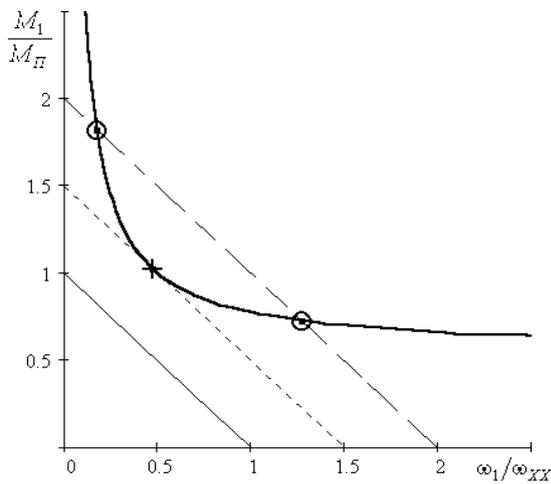


Рис.1. Определение диапазона КПФ

- нагрузочная линия;
- МХ при $U < U_{\phi, \text{мин}}$;
- - - МХ при $U = U_{\phi, \text{мин}}$;
- · - МХ $U > U_{\phi, \text{мин}}$

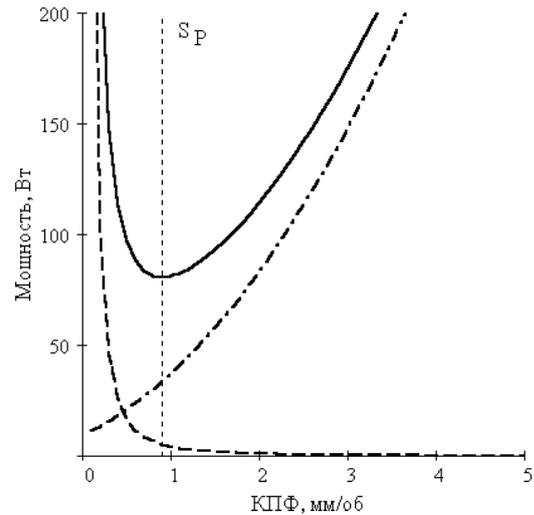


Рис.2. Определение оптимальной КПФ по ПМ

- полная ПМ
- · - мощность синфазных потерь
- - - мощность квадратурных потерь

На рис. 2 приведен пример определения оптимальной КПФ S_p , доставляющей минимум ПМ. В случае, когда v_H или F_H не постоянны, то v_H – средняя по модулю скорость за цикл T , F_H – средняя нагрузка за цикл T , P_H – средняя МН за цикл T .

Синтез по качеству переходного процесса проводим на базе линеаризованной одномассовой модели. Тогда система уравнений примет вид линейного дифференциального уравнения 2-го порядка:

$$T_1^2 \ddot{x} + 2\zeta_1 T_1 \dot{x} + x = X_0 \quad (10)$$

После интегрирования и подстановки решений в показатели плавности, получим следующие выражения для показателей плавности I_1 и I_2 :

$$I_1 = 2 \frac{\tau_0}{T_1} \begin{cases} \left(\zeta_1 + \sqrt{\zeta_1^2 - 1}\right)^\gamma, & \zeta_1 > 1; \\ e^{-1}, & \zeta_1 = 1; \\ \frac{e^{\gamma \left(\pi - \arctg \frac{1}{\gamma}\right)}}{e^{\pi\gamma} - 1}, & \zeta_1 < 1 \end{cases} \quad I_2 = \left(\frac{\tau_0}{T_1}\right)^2 \begin{cases} 1 + 2\left(\zeta_1 + \sqrt{\zeta_1^2 - 1}\right)^{-2\gamma}, & \zeta_1 > 1; \\ 1 + 2e^{-2}, & \zeta_1 = 1; \\ 1 + 2 \frac{e^{\gamma \left(\pi - \arctg \frac{2\zeta_1 \sqrt{1 - \zeta_1^2}}{2\zeta_1^2 - 1}\right)}}{e^{\pi\gamma} - 1}, & \zeta_1 < 1 \end{cases}$$

где $\gamma = \zeta_1 / \sqrt{|1 - \zeta_1^2|}$ – коэффициент колебательности.

Совместная минимизация показателей плавности I_1 и I_2 и показателя точности показала, что необходимым условием плавного и вместе с тем точного движения является переходный процесс без перерегулирования с коэффициентом демпфирования $\zeta_1 = 1$. Из этого условия можно определить оптимальное значение суммарной массы ММ

$$M_0 = \frac{(1 + k_\omega S_X [S_\eta (k_S + q_T) + k_M k_V])^2}{4 S_X k_\omega^2 J_{\text{рот}} (S_\eta k_P + k_M k_X)}$$

Выбор схемы ИМ. Существуют два типа исполнения ИМ поступательного перемещения в зависимости от того, какое из звеньев ИМ является ведущим. От выбора ведущего звена зависит суммарная приведенная масса ММ. При $M_0 < 3$ следует применять схему с ведущим винтом, при $M_0 > 4$ – с ведущей гайкой. Если $M_0 \sim 3...4$, то следует учитывать значимость того или иного канала помех и возмущений. В системах стабилизации с небольшой нагрузкой необходимо устранять помехи канала управления; в системах, работающих при воздействии значительных случайных нагрузок на выходной объект – возмущение от нагрузки; в системах со сложной кинематической схемой ИМ – возмущение от кинематической погрешности. В первом случае требуется применять схему ИМ с ведущей гайкой, во втором – ИМ с ведущим винтом, в третьем – устройства для выбора зазоров.

Список литературы:

1. Беленький Ю.М., Микеров А.Г. Выбор и программирование параметров бесконтактного моментного привода. – Л.: ЛДНТП, 1990. – 24 с.
2. Морозов В.В., Костерин А.Б., Новикова Е.А. Плавность динамических звеньев электромеханических приводов. – Владимир: ВлГУ, 1999. – 158 с.

А. П. Осипов к.т.н.

Филиал Самарского государственного технического университета в г. Сызрани
механический факультет, кафедра технологии машиностроения
Россия, г. Сызрань
mf@mfsyzran.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В работе представлены результаты моделирования распределения абразивного материала на рабочей поверхности абразивного инструмента. Получены зависимости между геометрическими, физико-механическими и структурными параметрами инструмента и режимом резания.

Ключевые слова: рабочая поверхность, абразивный инструмент, характеристика, геометрические параметры

Общеизвестно, что процесс шлифования является контактным процессом, и характеристики обрабатываемой поверхности в большей степени определяются геометрическими характеристиками рабочей поверхности (РП) абразивного инструмента (АИ). В работе [1] автор предложил моделировать режущие кромки параболоидом вращения с уравнением в системе координат $Oxyz$ $z^2 + x^2 = B_p^2 \cdot y^{2\nu_p}$ (ось z направлена в сторону вектора скорости резания, ось y - нормально обрабатываемой поверхности, ось x - перпендикулярно этим осям, начало координат O поместим в вершину режущей кромки), а РП АИ – как суперпозицию этих режущих кромок. Были получены выражения для вычисления параметров $b_{s\Sigma}$ и $\nu_{s\Sigma}$ суммарной кривой, но связь этих параметров с характеристиками абразивного инструмента, характеристиками инструментального материала рассмотрена не была.

Целью данной работы является определение рационального набора интегральных характеристик РП АИ в их взаимосвязи с характеристиками структуры АИ.

Некоторые исследователи [2,3] предлагают характеризовать РП АИ кривой относительного опорного профиля t_p , так, как это принято для обработанных поверхностей. Действительно, как установлено в теории контактной жесткости [4], свойства контакта двух шероховатых поверхностей (как статический, так и динамический), зависят только параметров b_s и ν_s аппроксимации начального участка кривой относительной опорной площади. Однако, в теории контактной жесткости изучаются эргодические поверхности, для которых кривую относительной опорной поверхности действительно можно заменить на кривую относительного опорного профиля. Как показано автором в работе [5], абразивная поверхность не является эргодической, и относительный опорный профиль t_p не является ее стабильной характеристикой.

Основываясь на данных рассуждениях, предлагается в качестве основной характеристики РП АИ использовать относительную опорную поверхность t_s , а в качестве параметров - параметры аппроксимации b_s и ν_s начального участка кривой относительной опорной поверхности.

Функциональную связь между t_p и t_s необходимо определять отдельно для каждого вида поверхности или ее обработки. Для нерегулярной, например абразивной, поверхности

более правильно, на наш взгляд, определять опорную поверхность как произведение опорных профилей в двух взаимноперпендикулярных направлениях [6], тогда

$$\left. \begin{aligned} v_S &= 2v_P, \\ B_S &= B_P^2 \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Относительная опорная поверхность t_S не будет являться единственной характеристикой РП АИ. Задавшись направлением интегрирования площади сечения неровностей (или относительной опорной поверхности), можно выйти на объем (относительный опорный объем) неровностей в общем объеме поверхностного слоя исследуемой поверхности. Для целей данного исследования удобно задать это направление нормально к номинальной поверхности вглубь поверхностного слоя. Относительный опорный объем t_V , являясь объемной долей компонентов, является основной структурной характеристикой АИ. В ходе теоретических исследований для относительного опорного объема после несложных преобразований было получено:

$$\left. \begin{aligned} B_V &= \frac{B_S}{v_S + 1}, \\ v_V &= v_S \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Для суммарной кривой РП АИ в работе [5] были получены следующие соотношения

$$\left. \begin{aligned} v_{S\Sigma} &= v_S + \frac{1}{v_a}, \\ B_{S\Sigma} &= B_S \cdot n \cdot \frac{v_S}{(v_S v_a + 1)} \cdot \frac{1}{v_a \sqrt{y_h}} \cdot \frac{\Gamma(v_S) \cdot \Gamma\left(\frac{1}{v_a}\right)}{\Gamma\left(v_S + \frac{1}{v_a}\right)} \end{aligned} \right\},$$

где y_h – глубина исследуемого слоя, n – количество режущих кромок в исследуемом слое, $y_P = y_a(p-1)^{v_a}$ – закон распределения вершин режущих кромок в исследуемом слое, p – порядковый номер вершины.

Математическое моделирование показало, что наиболее правильно представлять структуру абразивного инструмента равномерным распределением зерен по глубине поверхностного слоя, то есть $v_a = 1$, тогда с учетом (2)

$$\left. \begin{aligned} v_{S\Sigma} &= v_S + 1, \\ B_{S\Sigma} &= \frac{B_S}{y_a \cdot (v_S + 1)}, \\ v_{V\Sigma} &= v_S + 2, \\ B_{V\Sigma} &= \frac{B_S}{y_a \cdot (v_S + 1) \cdot (v_S + 2)} \end{aligned} \right\},$$

а для абразивного инструмента в целом (с учетом объемной доли зерен c_1 и связки c_2) [5], принимая во внимание, что связка присутствует во всем объеме инструмента и распределена равномерно

$$\left. \begin{aligned} v'_{S\Sigma} &= v_S + 1, \\ B'_{S\Sigma} &= \frac{(c_2 + c_1) \cdot B_S}{y_a c_1 \cdot (v_S + 1)} \\ v'_{V\Sigma} &= v_S + 2, \\ B'_{V\Sigma} &= \frac{(c_2 + c_1) \cdot B_S}{y_a c_1 \cdot (v_S + 1) \cdot (v_S + 2)} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Очевидно, что параметр y_a определяется структурой абразивного инструмента, поскольку при $v_a = 1$ определяется как $y_a = y_h/n$, а количество абразивных зерен (в объеме или на поверхности) зависит именно от соотношения компонентов. Средневероятное количество абразивных зерен в объеме поверхностного слоя в зоне контакта равно

$$n = S \cdot y_h \cdot c_1 \cdot \rho_m \cdot \rho_3,$$

где y_h – глубина поверхностного слоя; S – площадь зоны контакта АИ и обрабатываемой поверхности; ρ_m – количество зерен в единице массы; ρ_3 – плотность абразивного материала.

Следовательно, параметр y_a равен

$$y_a = \frac{y_h}{n} = \frac{1}{S \cdot c_1 \cdot \rho_m \cdot \rho_3}$$

Подставляя значение параметра y_a в (3), получим

$$\left. \begin{aligned} v'_{S\Sigma} &= v_S + 1, \\ B'_{S\Sigma} &= \frac{S \cdot \rho_m \cdot \rho_3 \cdot (c_2 + c_1) \cdot B_S}{(v_S + 1)} \\ v'_{V\Sigma} &= v_S + 2, \\ B'_{V\Sigma} &= \frac{S \cdot \rho_m \cdot \rho_3 \cdot (c_2 + c_1) \cdot B_S}{(v_S + 1) \cdot (v_S + 2)} \end{aligned} \right\}.$$

Далее, воспользовавшись равенствами (1), (2) и известными соотношениями для объемных долей компонентов АИ, можно определить параметры опорных кривых для РП АИ

$$\left. \begin{aligned} v'_{S\Sigma} &= 2v_P + 1, \\ B'_{S\Sigma} &= \frac{S \cdot \rho_m \cdot \rho_3 \cdot (0,52 + 0,015 \cdot (T - 1)) \cdot B_P^2}{(2v_P + 1)} \\ v'_{V\Sigma} &= 2v_P + 2, \\ B'_{V\Sigma} &= \frac{S \cdot \rho_m \cdot \rho_3 \cdot (0,52 + 0,015 \cdot (T - 1)) \cdot B_P^2}{(2v_P + 1) \cdot (2v_P + 2)} \end{aligned} \right\},$$

где T – номер твердости АИ от 1 до 17 (соответственно от ВМ1 до ЧТ).

Нашими исследованиями установлено, что (в шт/г)

$$\rho_m = \frac{10^{12}}{820N_3^3 \cdot \rho_3},$$

следовательно, можно окончательно записать

$$\left. \begin{aligned} v'_{\Sigma} &= 2v_p + 1, \\ B'_{\Sigma} &= \frac{10^8 \cdot S \cdot (0,52 + 0,015 \cdot (T - 1)) \cdot B_p^2}{820N_3^3 \cdot (2v_p + 1)} \\ v'_{V\Sigma} &= 2v_p + 2, \\ B'_{V\Sigma} &= \frac{10^8 \cdot S \cdot (0,52 + 0,015 \cdot (T - 1)) \cdot B_p^2}{820N_3^3 \cdot (2v_p + 1) \cdot (2v_p + 2)} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Параметры кривой опорной поверхности зерен B_p и v_p можно получить экспериментально. Множитель 10^8 введен для того, чтобы можно было определять параметры B_p и v_p для режущих кромок с параметрами длины в мкм. Ценность формулы (4) заключается в том, что она связывает геометрические, физические и структурные параметры АИ с технологическими параметрами, поскольку площадь контактной зоны S определяется схемой шлифования и режимами резания. Несложно видеть, что с уменьшением зернистости, увеличением структуры и снижением твердости увеличивается количество материала в любом сечении ПС, что закономерно.

Разработанные теоретические формулы позволяют как определить геометрические параметры РП АИ стандартной структуры и твердости, так и предсказать геометрические параметры РП АИ нестандартной структуры и твердости.

Список литературы:

1. *Осипов, А.П.* К вопросу расчета сил при резании единичным абразивным зерном / А.П. Осипов // Вестник СамГТУ. Технические науки. - 2004. - №24. - с. 144-151.
2. *Попов, С.А.* Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С.А. Попов, Н.П. Малевский, Л.М. Терещенко. - М.: Машиностроение, 1977. - 263 с.
3. *Морозов, В.А.* Оптимизация контактного взаимодействия шкурки с рельефным рабочим слоем / В.А. Морозов // Вестник машиностроения, 1990. №1. с.59-62.
4. *Демкин, Н.Б.* Контактное шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. - М.: "Наука", 1970. - 280 с.
5. *Осипов, А.П.* Оптимизация процесса шлифования на основе целенаправленного формирования рабочей поверхности абразивного инструмента: Автореф... на соискание ученой степени канд. техн. наук / А.П. Осипов. - Самара, 1999. - 28 с.
6. *Дьяченко, П.Е.* Критерии оценки микрогеометрии поверхности / П.Е. Дьяченко. - М.: Изд-во АН СССР, 1942.

А. Е. Рогозин

Поволжский государственный университет сервиса
факультет информационно-технического сервиса
кафедра «Информационный и электронный сервис»
Россия, г. Тольятти
aleksei.rogozin@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕ ПО ЗАНЯТЫМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ КАНАЛАМ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В работе анализируется возможность обеспечения передачи сигналов разовых сообщений по занятым телекоммуникационным каналам. Показана зависимость вероятности ошибки приема данных, от отношения «сигнал – помеха» для различных способов модуляции. Произведен анализ способов улучшения селекции сигналов регулярной информации и сигналов разовых сообщений.

Ключевые слова: телекоммуникационный канал, разовые сообщения, регулярная информация, мощность сигнала, широкополосный сигнал.

В практических случаях достаточно часто в телекоммуникационных каналах приходится передавать различного рода служебные сигналы, такие как сигналы для обеспечения синхронизации, сигналы управления и извещения и ряд других. Как правило, они передаются сравнительно редко и занимают небольшую часть времени, в связи с чем их называют разовыми сообщениями. Разовые сообщения могут быть аналоговыми и дискретными. Очевидно, что выделять специальные каналы для передачи таких сообщений экономически нецелесообразно. Более выгодным является обеспечение их передачи по занятым телекоммуникационным каналам, по которым уже передаются, как правило, непрерывно во времени различного рода информация. Такую основную передаваемую информацию принято называть регулярной [1].

Для того чтобы наложение сигналов разовых сообщений практически не сказывалось на помехоустойчивости системы передачи аналоговой и дискретной информации, необходимо определить требуемую максимальную мощность сигналов разовых сообщений, учитывая при этом характеристики телекоммуникационного канала и свойства самих сигналов.

Предположим, что сигналы разовых сообщений имеют «гладкий» спектр. Вследствие этого их воздействие на речевой сигнал подобно воздействию «белого» шума.

Рассмотрим сначала наложение «гладкого» шума на речевой сигнал. В работе [2] показано, что при скорости передачи импульсов, мешавших речевому сигналу, свыше 1000 имп/с. их воздействие на речевой сигнал подобно воздействию «гладкого» шума, мешающее воздействие которого определяется соотношением $U_{\text{ш}}/U_{\text{п}}$. При этом появление импульсов носит случайный характер (в частности, их источником может быть генератор псевдослучайной последовательности).

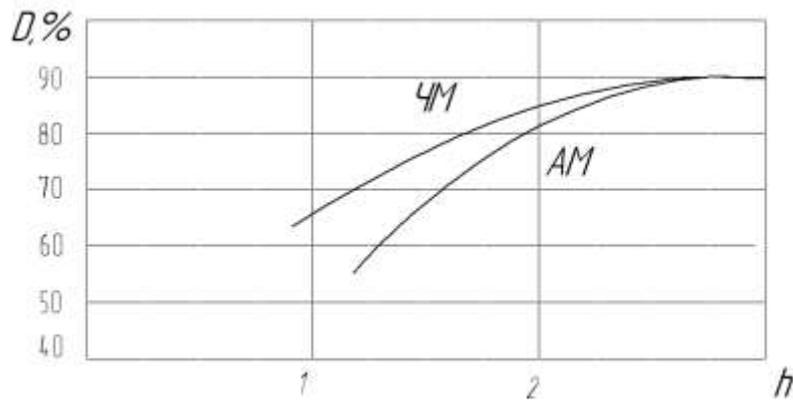


Рис. 1 Зависимости звуковой разборчивости D от отношения «сигнал-шум» на выходе приёмника речевого сигнала.

Из приведенных на рис.1. графиков видно, при небольших значениях отношения «сигнал-шум» на выходе приемника речевого сигнала (например, при $h=1..2$) звуковая разборчивость D более высока при частотной модуляции (ЧМ) нежели при амплитудной модуляции (АМ) [3]. Из рассмотрения этих зависимостей видно, что отличное качество связи обеспечивается при любом виде модуляции в случае, если выполняется условие

$$h^2 > 9, \tag{1}$$

где h^2 – отношение "сигнал-шум" по мощности. Под сигналом здесь понимается речевой сигнал; под шумом – сигнал разового сообщения, имеющий "гладкий" спектр. В частности, источником шумоподобного сигнала может быть генератор М-последовательности [4]. Условие (1) показывает максимально допустимую мощность сигнала разового сообщения, накладываемого на речевой сигнал, при которой звуковая разборчивость речи остается отличной ($D > 91\%$).

Допустимая мощность сигнала разового сообщения, накладываемого на речевой сигнал, должна соответствовать неравенству $h^2 > 9$, т.е. должна быть в 9-10 раз меньше мощности речевого сигнала.

Определим максимальную мощность сигналов разовых сообщений для каналов связи, занятых передачей дискретной информации. Максимальную мощность сигналов разовых сообщений следует выбирать, исходя из расчета допустимого увеличения вероятности ошибки при приеме данных из-за мешающего воздействия разовых сообщений. Обычно при приеме данных средняя вероятность ошибки символа находится в пределах $10^{-4} \dots 10^{-7}$. По данным МККТТ средняя вероятность ошибки при передаче данных равна $3 \cdot 10^{-5}$.

При оценке влияния на регулярную информацию сигналов разовых сообщений рассмотрим случай, когда время корреляции сигналов разовых сообщений соизмеримо или больше времени передачи единицы информации данных. При этом сигналы разовых сообщений воздействуют на сигналы данных так же, как гармоническая помеха.

На рис.2 показаны границы вероятности ошибки $P_{o.p.c.}$ в приеме данных, вызванной отсутствием в канале сигналов разовых сообщений, в зависимости от отношения «сигнал – помеха» на выходе приемника данных для различных способов модуляции: фазовой (ФМ), частотной (ЧМ), относительно-фазовой (ОФМ) и амплитудной (АМ) [2]. Под помехой понимаются сигналы разовых сообщений. Зависимости приведены для случаев, когда $f_c=f_n$ и $f_c \neq f_n$, где f_c – частота несущей сигналов данных; f_n – частота несущей разовых сообщений. При АМ и ЧМ используется некогерентный метод приема, ОФМ – метод сравнения фаз.

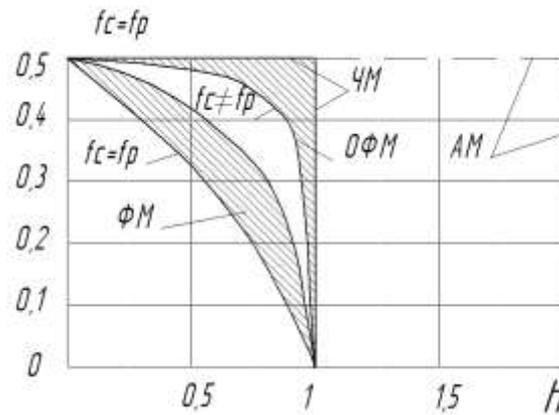


Рис. 2 Зависимость вероятности ошибки $P_{o.p.c}$ от отношения «сигнал - помеха».

Как видно из рис. 2, помеха не вызывает ошибок, пока $h > 2$ при АМ и $h > 1$ при остальных видах модуляции. Таким образом, наимудшей устойчивостью к помехе обладает некогерентная АМ. Наиболее устойчивой оказывается когерентная ФМ.

Следовательно, в случае низкого уровня флуктуационного шума в канале, достаточно выбрать мощность передатчика разовых сообщений такой, чтобы выполнялось условие

$$h^2 \geq 4, \quad (2)$$

при любом способе модуляции, используемой при передаче сигналов данных. При этом предполагается, что

$$P_{o_{имп}} \gg P_{оф}, \quad (3)$$

где $P_{o_{имп}}$ – вероятность ошибки при приеме данных, вызванная импульсной помехой, прерываниями и др.; $P_{оф}$ – вероятность ошибки, вызванная флуктуационной помехой.

Для линии с низким уровнем флуктуационного шума неравенство (3) всегда выполняется.

Например, для отношения «сигнал-флуктуационный шум» в интервале 17...13 дБ $P_{оф} < 10^{-18}$ при любом виде модуляции, общая же вероятность ошибки P_o не менее $10^{-7} \dots 10^{-8}$, т.е.

$$P_{o_{имп}} \gg P_{оф} \text{ или } P_o = P_{o_{имп}} + P_{оф}. \quad (4)$$

Вероятность искажения сигналов данных от импульсной помехи остается почти незначительной как в присутствии, так и в отсутствии сигналов разовых сообщений, если только их мощность меньше мощности сигналов данных. Такое предположение можно сделать на основе экспериментальных данных, приведенных [5], которые показывают, что вероятность ошибки мало зависит от уровня сигнала в канале.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: для того, чтобы сигналы разовых сообщений не оказывали существенного влияния на достоверность передачи аналоговой и дискретной информации в случае использования каналов с малым уровнем флуктуационных шумов, необходимо обеспечить условие

$$h^2 > 9, \quad (5)$$

Здесь под h^2 понимается отношение по мощности сигнала полезной информации к сигналу разового сообщения [6].

Найдем величину h^2 для каналов с высоким уровнем флуктуационного шума (отношение «сигнал – флуктуационная помеха» не более 15 дБ).

Увеличение вероятности ошибки при приеме данных может быть вызвано уменьшением мощности сигнала данных на выходе приемника при противофазном наложении сигналов разовых сообщений [7]. Определим максимально допустимую мощность сигналов разовых сообщений для самого неблагоприятного случая: сигналы данных и сигналы разовых сообщений противофазны; отношение «сигнал данных –

флуктуационная помеха» примерно 14...15 дБ; при передаче данных используется амплитудная модуляция (АМ).

При когерентном приеме АМ-сигналов вероятность ошибки $P_{оф}$, вызванная флуктуационной помехой, запишется в виде:

$$P_{оф} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \sqrt{\frac{U_c^2 \cdot T}{2N_0}} \right], \quad (6)$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$; U_c – эффективное напряжение сигнала данных; T –

длительность элементарного сигнала данных; N_0 – спектральная плотность мощности шума.

Очевидно, что в присутствии сигналов разовых сообщений

$$P_{оф} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \sqrt{\frac{(U_c - U_k)^2 \cdot T}{2N_0}} \right] = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \sqrt{(1-k)^2 \frac{U_c^2 \cdot T}{2N_0}} \right], \quad (7)$$

где $k = \frac{U_k}{U_c}$, U_k – эффективное напряжение сигналов разовых сообщений.

Согласно формуле (7), на рис. 3 показана зависимость вероятности ошибки $P_{оф}$ от отношения «сигнал – флуктуационная помеха» в присутствии противофазного сигнала разовых сообщений. Из графиков видно, что при $h^2 = 20...30$ дБ допустимая мощность сигналов разовых сообщений должна быть в 4..5 раз меньше мощности сигнала данных; при малых h^2 ($h^2=14...15$ дБ) допустимая мощность сигнала разовых сообщений уменьшается. Для сохранения неравенства (3) и, следовательно, для сохранения практически неизменной вероятности ошибки при приеме данных, при наложении сигналов разовых сообщений k^2 должно быть порядка 0,033...0,04.

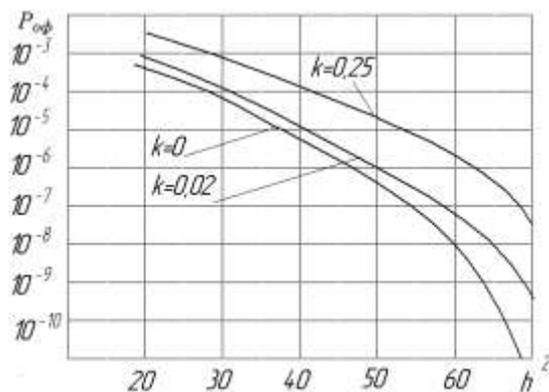


Рис. 3 Зависимость вероятности ошибки $P_{оф}$ от отношения «сигнал – флуктуационная помеха».

Итак, при работе по «плохим» каналам связи, т.е. по каналам с высоким уровнем флуктуационного шума, максимально допустимая мощность сигналов разовых сообщений должна быть в 25...30 раз меньше мощности данных.

Таким образом, для «хороших» каналов связи (отношение «сигнал данных – флуктуационная помеха» составляет приблизительно 20...30 дБ)

$$h^2 \geq +14 \div +15 \text{ дБ}. \quad (8)$$

Эти результаты получены для любого вида модуляции, используемой для передачи аналоговой и дискретной информации.

Уверенный прием сигналов разовых сообщений и сигналов регулярной информации возможен только при условии, что:

$$h_{p.c}^2 \gg 1 \quad (9)$$

$$h_{p.u}^2 \gg 1 \quad (10)$$

где $h_{p.c}^2$ - отношение по мощности сигнала разовых сообщений к сигналу регулярной информации на входе решающего устройства приемника разовых сообщений; $h_{p.u}^2$ - отношение по мощности сигнала регулярной информации к сигналу разовых сообщений на выходе решающего устройства приемника регулярной информации.

Для выяснения возможной селекции представим сигналы регулярной информации в виде стационарного случайного процесса, имеющего на входе интегратора приемника разовых сообщений мощность $P_{p.u}$ и нормированную функцию корреляции $\rho(\tau')$ [8].

Тогда мощность сигналов регулярной информации, являющихся помехой сигналам разовых сообщений, на входе решающего устройства приемника сигналов разовых сообщений ($P_{вых}$) будет:

$$P_{вых} = \frac{2P_{p.u}}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau'}{T}\right) \rho(\tau') d\tau', \quad (11)$$

где T – время интегрирования.

Обозначим $\tau_{p.u}$ время корреляции сигналов регулярной информации.

Для случая $T \gg \tau_{p.u}$

$$P_{вых} = P_{p.u} \frac{\tau_{p.u}}{T}. \quad (12)$$

На выходе интегратора приемника сигналов разовых сообщений

$$h_{p.c}^2 = \frac{P_{p.c}}{P_{вых}} = \frac{P_{p.c}}{P_{p.u}} \cdot \frac{T}{\tau_{p.u}} = \frac{1}{h_{p.u}^2} \cdot \frac{T}{\tau_{p.u}} \quad (13)$$

(при полном перекрытии спектров сигналов регулярной информации и сигналов разовых сообщений) или

$$h_{p.u}^2 = \frac{1}{h_{p.c}^2} \cdot \frac{T}{\tau_{p.u}}. \quad (14)$$

Соотношение (13), (14) показывают возможность селекции сигналов регулярной информации и сигналов разовых сообщений при заданной скорости передачи последних.

Уменьшение времени корреляции помехи $\tau_{п}$ на входе интегратора приемника разовых сообщений приводит к улучшению селекции сигналов регулярной информации и сигналов разовых сообщений.

Уменьшение $\tau_{п}$ возможно в случае применения для передачи пазовых сообщений широкополосных сигналов. Тогда

$$\tau_{п} = \frac{\tau_{p.c} \cdot \tau_{p.u}}{\tau_{p.c} + \tau_{p.u}}. \quad (15)$$

Если $\tau_{p.u} \gg \tau_{p.c}$, то получаем

$$\tau_{п} \approx \tau_{p.c}. \quad (16)$$

Следовательно, время корреляции помехи на выходе перемножающего устройства определяется временем корреляции слабо коррелированного процесса. Например, в случае применения в качестве широкополосного сигнала М-последовательности с $f_{п} \approx 900$ Гц

$(\tau_{p.c} \approx \frac{1}{f_{\Gamma\Pi}} \approx 1,1 \text{ мс})$ время корреляции помехи на выходе интегратора: для слабо коррелированных сигналов данных ($\tau_{p.u} \approx 2 \text{ мс}$) $\tau_{\Pi} \approx 0,7 \text{ мс}$; для сильно коррелированных сигналов данных ($\tau_{p.u} > 20 \text{ мс}$) $\tau_{\Pi} \approx 1,1 \text{ мс}$; для речевого сигнала ($\tau_{p.u} \approx \tau_0 \approx 8 \text{ мс}$) $\tau_{\Pi} \approx 0,97 \text{ мс}$.

Таким образом, применение широкополосного сигнала для передачи разовых сообщений позволяет улучшить селекцию команд от сигналов регулярной информации, особенно при сильно коррелированных сигналах последней.

Список литературы:

1. *Беличкин, А.И.* Статистическое исследование речевого процесса [Текст] // Электросвязь, 1964. – №8
2. *Варагин, И.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / И. Е. Варагин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. *Кулл, В.И.* Экспериментальные исследования корреляционных соотношений в спектре речи [Текст] // Электросвязь, 1964. – № 4
4. *Гантмахер, В.Е.* Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка [Текст] /В. Е. Гантмахер, Н. Е. Быстров, Д. В. Чеботарев. – М. : Наука и техника, 2005. – 400 с.
5. *Немировский, М. С.* Помехоустойчивость радиосвязи [Текст] / М. С. Немировский. – М. : Энергия, 1966. – 295 с.
6. *Зюко, А. Г.* Помехоустойчивость и эффективность систем связи [Текст] / А. Г. Зюко. – М. : Связь, 1972. – 359 с.
7. *Рудой, В. М.* Системы передачи информации [Текст] / В. М. Рудой. – М. : МГОУ, 2004. – 171 с.
8. *Сацко, А.А.* Энергетический спектр и функции корреляции сигналов вещания [Текст] // Сб.науч.тр. ЦНИИС, 1964. – №2

АННОТАЦИИ ABSTRACTS

В.К. Половняк

КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ Pd(IV) С ФОСФИНАМИ

С использованием в качестве окислителя газообразного хлора, методом твердофазного окисления синтезированы комплексы палладия(IV) с замещенными арилфосфинами, установлено их строение, реакционная способность и каталитическая активность в реакции карбалкоксилирования ацетилена.

Ключевые слова: палладий, арилфосфины, комплексы, катализ.

А.В. Болдырев, С.В. Болдырев,
В.Л. Мулюкин, С.И. Харчук, С.С. Харчук
ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕЗАВИСИМОСТИ
ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ОТРЫВНОГО
ТЕЧЕНИЯ ОТ РАЗМЕРОВ ВХОДНОЙ
ДОБАВЛЕННОЙ ОБЛАСТИ

Исследовано влияние размеров границ полусферической добавленной входной области на результаты численного моделирования осесимметричного квазистационарного отрывного турбулентного течения несжимаемого газа за диафрагмой. Используются три модели турбулентности для трех режимов течения. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по распределению на стенке цилиндрического канала коэффициентов трения и давления. Получена независимость решения от радиуса полусферы входной области.

Ключевые слова: размеры входной границы, модель турбулентности, коэффициент трения, коэффициент давления, отрыв потока, режим течения.

А.А.Большаков, А.Ю.Большаков,
Е.Б.Пименова
ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ШТАМП НА
ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ
УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Предложено приближенное решение задачи о

V.K. Polovnyak

COORDINATION COMPOUNDS OF Pd(IV) WITH PHOSPHINES

Using chlorine gas as the oxidant, complexes of palladium (IV) with arylphosphine derivatives was synthesized by solid-phase. Their structure, reactivity and catalytic activity in the acetylene carbonylation reaction are established.

Keywords: palladium, arylphosphines, complexes, catalysis.

A.V. Boldyrev, S.V. Boldyrev,
V.L. Mulyukin, S.I. Kharchuk, S.S. Kharchuk,
PROVIDING OF ADDITIONAL INLET
REGION SIZE'S INDEPENDENCE OF
SEPARATED FLOW'S NUMERICAL
SOLUTION

Influence of additional inlet semi-sphere region's boundary size on results of numerical simulation for axisymmetric pseudo-steady separated turbulent flow of incompressible gas behind diaphragm was researched. Three turbulence models for three flow modes were used. Comparison of calculated and experimental data of friction and pressure coefficients' distribution on cylindrical channel wall was carried out. Independence solution of inlet semi-sphere region's radius was got.

Keywords: inlet boundary size, turbulence model, friction coefficient, pressure coefficient, separated flow, flow mode.

A.A. Bolshakov, A. Ju. Bolshakov,
E. B. Pimenova

A RECTANGULAR STAMP ON A TWO-PARAMETER ELASTIC BASE

In the paper the approximate solution for a problem of a two-parameter elastic base

действию сосредоточенной силы на двухпараметрическое упругое основание. На основе естественного обобщения найденного решения, получены аналитические выражения для определения осадок жесткой прямоугольной плиты (штампа) и грунта за ее пределами.

Ключевые слова: прямоугольная жесткая плита, двухпараметрическое упругое основание, сосредоточенная сила, приближенное решение.

Ал.Ф. Гайсин, А.З. Гумеров,
Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТОКА
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ
МЕТАЛЛИЧЕСКИМ И
ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДАМИ
ПРИ АТМОСФЕРНОМ И ПОНИЖЕННЫХ
ДАВЛЕНИЯХ

Представлены результаты экспериментального исследования колебаний тока электрического разряда между металлическим и электролитическим электродами. Выявлены особенности колебания тока соответствующие тлеющему и многоканальному разрядам.

Ключевые слова: электрический разряд, низкотемпературная плазма, колебания тока.

Х.Ш. Джураев
РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ
ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ
Рассматривается проблема устойчивости распространения волн в анизотропной неоднородной среде. Построен класс приближенного решения в виде регуляризирующих операторов, обладающие свойством устойчивости к малым отклонениям исходных данных. При этом важную роль играет выбор сглаживающей функция и условия согласования параметра регуляризации с погрешностью.

Ключевые слова: сглаживающая функция; параметр регуляризации; семейство регуляризирующих алгоритмов; устойчивость; некорректность.

reaction under the burden of point force is suggested. The obtained solution extends to deduce the analytic expression for evaluating of settlements both a rigid rectangular plate (stamp) and a soil out of stamp.

Keywords: a rigid rectangular plate, a two-parameter elastic base, a point force, an approximate solution.

Al.F. Gaysin, A.Z. Gumerov, R.T. Nasibullin,
L.R. Sarimov
THE RESEARCH OF THE OSCILLATIONS
OF CURRENTS OF ELECTRICAL
DISCHARGE BETWEEN THE METALLIC
AND THE ELECTROLYTIC ELECTRODES
AT ATMOSPHERIC AND THE LOWERED
PRESSURE

Presenting the results of the experimental research of the oscillations of currents of electrical discharge between the metallic and the electrolytic electrodes. The features of the glow discharge and the multichannel discharge currents oscillations were identified.

Keywords: electric discharge, low-temperature plasma, oscillations of currents.

Kh.Sh. Dzhuraev
REGULARIZATION OF BOUNDARY
PROBLEMS FOR THE HYPERBOLIC
EQUATION
Stability of distribution of waves in the anisotropic non-uniform environment is considered. The class of the approached solution in a kind regularization operator is constructed by property of stability to small deviations of the initial data. The important role is played by a choice smoothing function and conditions of the coordination of parameter regularization with a margin error.

Keywords: smoothing function; parameter regularization; family regularization algorithms; stability, an incorrectness.

А.А. Илюхин, А.К. Попов
РАСТЯЖЕНИЕ МИКРОПОЛЯРНОГО
ЕСТЕСТВЕННО ЗАКРУЧЕННОГО
СТЕРЖНЯ

В рамках работы решена задача Сен-Венана о растяжении естественно закрученного стержня силой, приложенной к свободному торцевому сечению. Решение задачи построено в перемещениях. Найдены компоненты вектора перемещений, тензора напряжений и моментных напряжений, удовлетворяющие граничным условиям на основаниях и боковой поверхности естественно закрученного стержня.

Ключевые слова: растяжение, естественно закрученный стержень, моментная теория упругости, псевдоконтинуум Коссера.

А.А. Илюхин, С.А. Шретер
ПОВЕДЕНИЕ ПЛАСТИНКИ НА УПРУГОМ
СТЕРЖНЕ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ
ПОТОКЕ

Основная идея используемого в данной работе метода построения решения нелинейной задачи теории упругих стержней состоит в сведении исходного уравнения Кирхгофа к системе уравнений гамильтонова типа с последующей нормализацией функции Гамильтона в определенном числе членов. Предложено также строить обратное преобразование Биркгофа для упрощения решения краевой двухточечной задачи. Указан и программно реализован алгоритм численного построения зависимости угла атаки пластинки от скорости набегающего потока.

Ключевые слова: гамильтонов подход, преобразование Биркгофа, изгиб стержня, математическая модель, аэродинамические силы.

А.А. Лопатин
ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЕЗНЫХ РЕБЕР В
КАЧЕСТВЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ВОЗДУШНЫХ СИСТЕМАХ
ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

В работе представлены результаты исследования теплообмена в вынужденно-

А.А. Илюхин, А.К. Попов
STRETCHING OF THE MICROPOLAR
NATURALLY TWIRLED CORE

The problem of Saint-Venant about a stretching natural twisted rod by force enclosed to free face section within the limits of work is solved. The problem decision is constructed in moving. Components of a vector of moving, tensor of stress and couple-stress which satisfy to boundary conditions on the bases and a lateral surface of naturally twirled core are found.

Keywords: a stretching, thenatural twisted rod, moment the elasticity theory, Cosserat continuum.

А.А. Илюхин, С.А. Шретер
BEHAVIOUR OF THE PLATE ON THE
ELASTIC CORE IN THE AERODYNAMIC
STREAM

The basic idea used in this paper, a method of constructing solutions of nonlinear problems in the theory of elastic rods is to reduce the original equation to a system of Kirchhoff type Hamiltonian with subsequent normalization of the Hamiltonian in a certain number of members. Proposed construction of Birkhoff inverse transformation to simplify the solution of the boundary two-point problem. Specified and implemented software algorithm for the numerical construction of the angle of attack depending on the plate from the free stream velocity.

Keywords: Hamiltonian approach, Birkhoff transformation, bending of the rod, the mathematical model, aerodynamic forces.

А.А. Лопатин
USING THE CUTTING EDGES AS THE
MAIN ELEMENTS OF THE AIR SYSTEMS
COOLING OF RADIO-ELECTRONIC
EQUIPMENT

The article presents the results of research of the heat exchange in forced convection systems of cooling heat-weighted elements of radio-

конвективных системах охлаждения теплонагруженных элементов радиоэлектронного оборудования. Проведено сравнение тепловой эффективности систем, выполненных на основе гладких и разрезных ребер. Получены зависимости теплового сопротивления от тепловой нагрузки.

Ключевые слова: системы охлаждения, разрезные ребра, теплообмен, интенсификация теплообмена, тепловой поток.

Е.С. Мясникова
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕЛИНЕЙНО И
ЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО
ОСНОВАНИЯ

В статье приведены результаты сравнения перемещений нелинейно-деформируемого основания под равномерно распределенной нагрузкой, полученных численным и аналитическим методом. Определена вероятность отказа нелинейно и линейно деформируемого основания.

Ключевые слова: надежность, нелинейно деформируемое основания, вероятность отказа основания

В.Н. Авдащенко, С.В. Кузнецов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДсорбЦИИ
КАТИОНОВ КАЛЬЦИЯ И ФОСФАТ-
АНИОНОВ НА ТОЧКУ НУЛЕВОГО
ЗАРЯДА ДИОКСИДА ТИТАНА

Термодинамически обоснована зависимость точки нулевого заряда и растворимости диоксида титана. Проанализированы данные по адсорбции катионов кальция и фосфат-анионов на диоксиде титана при различных значениях pH. Показано, что адсорбция катиона кальция неспецифическая, а фосфат-иона – специфическая.

Ключевые слова: адсорбция, диоксид титана, фосфат-ион, точка нулевого заряда.

Е.В. Гусева, В.К. Половняк, А.В. Потапова
ВЛИЯНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОГО
КОМПЛЕКСА РОДИЯ(III) С Р-
ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМ
КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНОМ НА

electronic equipment. Comparison of heat effectiveness of the system has been hold, made on the basis of smooth and cutting edges. Dependences of the heat resistance from the heat loading have been gained.

Keywords: system cooling, cutting edges, heat exchange, intensification of heat exchange, heat stream.

E.S. Myasnikova
LINEAR AND NONLINEAR FOUNDATION
RELIABILITY

This article considers nonlinear and linear foundation under pressure load, using reliability theory. In this way we estimate foundation fault probability.

Keywords: reliability theory, nonlinear foundation behavior, fault probability

V.N. Avdashenko, S.V. Kuznetsov
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF
ADSORPTION CALCIUM CATIONS AND
PHOSPHATE ANIONS ON THE POINT OF
ZERO CHARGE OF TITANIUM DIOXIDE

Thermodynamically substantiated dependency point of zero charge and solubility of titanium dioxide. Analyzed data on the adsorption of calcium cations and phosphate anions on titanium dioxide at different pH values. It is shown that the adsorption of nonspecific cation calcium and phosphate ion - specific.

Key words and phrases: adsorption, titanium dioxide, phosphate ion, the point of zero charge.

E.V. Guseva, V.K. Polovnyak, A.V. Potapova
EFFECT OF SUPERMOLECULAR
COMPLEXES OF RHODIUM (III) WITH P-
FUNCTIONALIZED CALIX [4]
RESORCINE ON THE KINETIC FEATURES

КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
КОМПЛЕКСНО-РАДИКАЛЬНОЙ
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И
ВИНИЛАЦЕТАТА

Рассмотрены особенности влияния супрамолекулярного комплекса родия(III) с P-функционализированным каликс[4]резорцином на кинетику полимеризации метилметакрилата и винилацетата в системе «пероксид бензоила + комплекс Rh(III) с P-функционализированным каликс[4]резорцином». На основе сравнения экспериментальных данных с известными каталитическими системами показано преимущество применения в качестве катализаторов супрамолекулярных комплексов.

Ключевые слова: метилметакрилат, винилацетат, полимеризация, перекись бензоила, супрамолекулярный комплекс родия(III) с P-функционализированным каликс[4]резорцином, кинетика, константа скорости реакции, диоксан, формамид.

С.В. Дворяк, Р.А. Гарифуллин,
П.А. Катасонов, Г.В. Маврин,
Д.А. Харлямов, Ю.И. Шакиров
СОРБЦИЯ ИОНОВ ТРЕХВАЛЕНТНОГО
МЫШЬЯКА ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА
СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ
СИНТЕТИЧЕСКОГО МАГНЕТИТА

После краткого обзора экологических проблем, возникающих в результате загрязнения грунтовых вод ионами мышьяка, проведено исследование сорбционных свойств оксида железа по отношению к мышьяку. В качестве сорбента использовались сферические частицы магнетита, синтезированные плазмохимическим способом из железозуглеродистых сталей. Построена изотерма адсорбции Фрейндлиха. Обсуждена эффективность предлагаемого метода удаления ионов мышьяка.

Ключевые слова: адсорбция, мышьяк, магнетит, изотерма адсорбции, плазмохимия.

OF COMPLEX-RADICAL
POLYMERIZATION OF METHYL
METHACRYLATE AND VINYL ACETATE
The features of influence of supermolekular complex of rhodium (III) with P-functionalized calix[4]resorcine on the kinetics of polymerization of MMA and VA in system «benzoyl peroxide + (C4R-PRh)» are considered. The comparison of our experimental data with systems, which known for today, have been conducted. This researches are shown advantage of application as catalysts our supermolekular complexes.

Keywords: methyl methacrylate, vinyl acetate, polymerization, benzoyl peroxide, supramolecular assembly of rhodium (III) with P-functionalized calix[4] resorcine, kinetics, reaction rate constant, dioxane, formamide.

S.V. Dvoryak, R.A. Garifullin, P.A. Katasonov,
G.V. Mavrin, D.A. Kharlyamov, I.U. Shakirov
ARSENIC TRIVALENT IONS
ADSORPTION IN AQUEOUS SOLUTIONS
USING SPHERICAL SYNTHETIC
MAGNETITE PARTICLES

A short review of ecological problems arising as a result of arsenic pollution of the ground waters is followed by the experimental research of ferrous oxides' arsenic sorption capacity. Spherical synthetic magnetite particles that were obtained in plasma-chemical process out of ferrous-carbon alloys were used as a sorption agent. Freundlich's adsorption isotherm were plotted and effectiveness of the method were discussed.

Keywords: adsorption, arsenic, magnetite, adsorption isotherm, plasma-chemical.

Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, У.М. Малага,
А.К. Молодкин, М.В. Тачаев,
В.Е. Шаповалова

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ РОДИЯ (III) С ГИПОКСАНТИНОМ И АДЕНИНОМ

Изучено комплексобразование в системах: Rh(III) – пуриновое основание (аденин, гипоксантин). Определены константы устойчивости комплексов состава 1:1, 1:2 и 1:3. Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения:
 $Rh(C_5H_5N_5)_2Cl_3 \cdot H_2O$
 $Rh(C_5H_4N_4O)_2Cl_3 \cdot 2H_2O$.

Ключевые слова: родий, комплексы родия, аденин, гипоксантин.

Кинду М.Ф.А.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЗЭ (III) С 1,10- ФЕНАНТРОЛИНОМ И САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

Статья посвящена синтезу и исследованию новых разнолигандных комплексных соединений некоторых редкоземельных элементов с 1,10 –фенантролином и салициловой кислотой. Полученные соединения охарактеризованы различными физико-химическими методами. Предложено их наиболее вероятное строение.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, координационные соединения, лиганды

А.М. Юровский

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДНЫХ СУЛЬФОКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ АРОМАТИЧЕСКОГО РЯДА С ДИАЗОМЕТАНОМ

В этой статье описывается общий метод синтеза новых замещенных 3-(бромацетил)бензолсульфонилхлоридов на основе реакции дихлорангидридов замещенных 3-сульфобензойных кислот с диазометаном.

Ключевые слова: диазометан, метилирование, сульфобензойные кислоты, сульфонилхлориды бензойных кислот, фенацилгалогениды.

N.Y.Esina, M.N.Kurasova, W.M.Malaga,
A.K.Molodkin, M.V.Tachaev,
V.E.Shapovalova

COMPLEX FORMATION OF RODIUM (III) WITH HYPOXANTHINE AND ADENINE.

The complex formation of Rh(III) with purine bases (hypoxanthine and adenine) was studied. The stability constants of complexes (1:1, 1:2 and 1:3) were determined. New complex compounds were synthesized from water solution:
 $Rh(C_5H_5N_5)_2Cl_3 \cdot H_2O$
 $Rh(C_5H_4N_4O)_2Cl_3 \cdot 2H_2O$.

Key words: Rhodium, complex compounds of Rhodium, adenine, hypoxanthine.

Kindu M.F.A.

SYNTHESES AND STUDY OF MIXED – LIGAND COMPLEXES OF RARE EARTH (III) WITH 1,10-PHENANTHROLINE AND SALICYLIC ACID. "

Abstract This paper presents the results of the study and syntheses of the rare earth complexes with 1,10 –Phenanthroline and salicylic acid. The structure and properties have been characterized by element analysis, IR- spectra, TG-DTA.

Keywords: rare earths, coordination compounds, 1, 10 –Phenanthroline, salicylic acid

A.M. Yurovskiy

SOME FEATURES OF INTERACTION OF DERIVATIVES OF SULPHOCARBOXYLIC ACIDS OF AROMATIC SERIES WITH DIAZOMETHANE

This paper describes the general method of synthesis of the novel substituted 3-(bromoacetyl)benzenesulfonyl chlorides, based on the reaction of diacyl chlorides of substituted 3-sulphobenzoic acids with diazomethane.

Keywords: diazomethane, methylation, sulphobenzoic acids, sulfonyl chlorides of benzoic acids, phenacyl halides.

В.В. Андреев, М.В. Козлов
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОЙ
ПОВЕРХНОСТИ, НАГРУЖЕННОЙ
ДАВЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАМНОГО ПАКЕТА ANSYS

При разработке сварного пластинчатого теплообменного аппарата потребовалась оценка прочностных характеристик теплообменной поверхности. Было проведено моделирование теплообменной поверхности и ее нагружение рабочим давлением с использованием программного пакета ANSYS. Определены границы применимости данной теплообменной поверхности, получены ряд формул для расчета такой системы.

Ключевые слова: сварной пластинчатый теплообменник, теплообменная поверхность, давление, прочность, деформация ячейки.

В.В. Андреев, Е.В. Тесленко
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО

ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САД СИСТЕМАХ
Статья посвящена вопросам технологического сопровождения САД-проектирования интеллектуальной информационной системой на стадии конструкторской подготовки производства. Дан краткий обзор проблем, возникающих при использовании программных средств технологического проектирования (ПС ТП). Предложено решение проблемы путем автоматического формирования массива конструктивно-технологических признаков и синтеза технологического процесса на стадии рабочего проектирования интеллектуальной информационной системой.

Ключевые слова: САД, САРР системы, интеллектуальная информационная система, конструктивно-технологические признаки деталей, массив, синтез технологического процесса.

В.В. Андреев, А.В. Дунцев, М.В. Турченко
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПРИ
ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

V.V. Andreev, M.V. Kozlov
STRESS TESTING OF HEAT TRANSFER
AREA BY ANSYS SOFTWARE

Be required, pressure stress characteristics of heat transfer area by designing welded heat exchanger were assessed. ANSYS software was used to simulation this area and pressurizing it by working pressure. Limits of using this heat transfer area were defined and some formulas for durability calculation were estimated.

Keywords: welded plate heat exchanger, heat transfer area, pressure, durability, cell deformation.

V.V. Andreev, E.V. Teslenko
INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM
OF TECHNOLOGICAL DESIGNING IN
CAD SYSTEMS

The article is devoted to the questions of technological support of CAD-designing by intelligent information system at a stage of design preparation of manufacture. A short review of the problems resulting from usage of the technological design software is given. The solution of the problem by the file of automatic formation of constructive-technological signs massive and synthesis of technological process at a stage of design engineering by intelligent information system is offered.

Keywords: CAD, CAPP Systems, intelligent information system, the constructive-technological signs of details, massive, synthesis of technological process.

V.V. Andreev, A.V. Duntsev, M.V. Turchenko
DETERMINATION OF THE COEFFICIENT
OF HYDRAULIC FRICTION WITH THE
NATURAL CIRCULATION OF LIQUID IN

ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ КАНАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе предлагается процедура определения коэффициента гидравлического трения при естественной циркуляции жидкости в канале с помощью обучения нейронной сети. В процессе обучения на входы сети подаются значения параметров, определяющих режим течения теплоносителя (в частности, мощность нагрева), а также данные, получаемые в результате эксперимента (температуры и расход), на выходе же мы должны получить прогнозируемые значения коэффициента гидравлического трения. После обучения ИНС, мы сможем прогнозировать изменение коэффициента гидравлического трения еще на ранних стадиях процесса, что позволит своевременно принять необходимые действия по управлению процессом развития ЕЦ.

Ключевые слова: естественная циркуляция, теплоноситель, гидравлическое сопротивление, искусственная нейронная сеть.

А.А. Антонникова, О.Б. Кудряшова, М.В. Хмелев, А.В. Шалунов ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

В статье описаны результаты исследования процесса коагуляции аэрозолей под действием акустических колебаний с частотой более 20 кГц, генерируемых при помощи дисковых излучателей, возбуждаемых пьезоэлектрическими преобразователями. Показано, что воздействие ультразвуковых колебаний ускоряет осаждение аэрозоля более чем в 2 раза за счет укрупнения частиц.

Ключевые слова: аэрозоль, ультразвуковое воздействие, коагуляция

В.Ф. Беккер ВЫБОР ФОРМЫ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАСАДОЧНЫХ ТЕЛ В

A CLOSED CHANNEL WITH THE HELP OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

In the given work the method of the hydraulic friction factor definition is considered. By means of experimental data we train a neural network. On network inputs values of the parameters defining a mode of a current of the heat-carrier move (in particular, capacity of heating), and also the data, received as a result of experiment. On exit we should receive predicted values of factor of hydraulic friction. After training of an artificial neural network, we can predict change of factor of a hydraulic friction at early stages of process. It will allow accepting in due time necessary actions on management of development of natural circulation.

Keywords: natural circulation, the heat-carrier, hydraulic resistance, artificial neural network.

А.А. Antonnikova, О.В. Kudryashova, М.В. Khmelev, А.В. Shalunov DEVELOPMENT OF THE ULTRASONIC OSCILLATOR FOR SEDIMENTATION OF AEROSOLS

In article results of research of coagulation process in aerosols under the influence of acoustic vibrations with frequency more than 20 кГц, generated by means of disk oscillators with the piezoelectric converter are described. It is shown that influence of ultrasonic vibrations accelerates sedimentation of an aerosol more than in 2 times at the expense of integration of particles.

Keywords: aerosol, ultrasonic influence, coagulation

V.F. Bekker CHOICE-SHAPED EXTERIOR SURFACE PACKED BODIES IN THE APPLIANCE

АППАРАТЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Исследовано влияние формы внешней поверхности элементов вращающейся подвижной насадки выпуклой формы на гидродинамику трехфазного псевдоожигенного слоя в рабочем объеме аппарата. В качестве критерия эффективности формы подвижной насадки рассматривалась удельная поверхность контакта газа с жидкостью. Исследованы основные факторы, влияющие на характер взаимодействия фаз в псевдоожигенном слое. Предложена методика выбора активного элемента подвижной насадки из ряда внешних поверхностей выпуклой многогранной формы.

Ключевые слова: подвижная насадка, трехфазный псевдоожигенный слой, газо-жидкостная система.

О.В. Блажнова, Д.Г. Портнягин,
Ю.В. Селиванов

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОГО ШЛАКА ТЭЦ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА

В статье приведены результаты исследования структуры, фазового состава и свойств пеностеклокристаллических материалов, получаемых по энергоэффективной технологии низкотемпературного обжига, из композиций на основе стеклобоя и высококальциевого шлака от сжигания бурых углей. Установлено, что высококальциевый шлак в количестве 30-40% с размером частиц менее 0,16 мм можно эффективно использовать в качестве заменителя стеклобоя в композициях для получения пеностеклокристаллических материалов при температуре обжига 800°C.

Ключевые слова: пеностеклокристаллические материалы, высококальциевый шлак, энергоэффективная технология, структура, фазовый состав, свойства

WITH ROTATING SLIDING NOZZLE

The influence of the form the outer surface of the rotating elements of movable nozzle convex shape on the hydrodynamics of three-phase fluidized bed in the working volume of the unit. As a criterion for the effectiveness of mobile forms of attachment considered the specific surface area of contact with the liquid gas. Study the main factors influencing the nature of the interaction of phases in a fluidized bed. The technique of choice of the active element of a series of movable nozzle external surfaces of the convex polyhedral shapes.

Keywords: movable nozzle, three-phase fluidized bed, gas-liquid system.

O.V. Blazhnova, D.G. Portnyagin,
Yu.V. Selivanov

ESTIMATION OF POSSIBILITIES TO USE HIGH CALCIUM SLAG OF HEAT ELECTROPOWER STATION FOR OBTAINING FOAM CRYSTAL MATERIALS USING ENERGY EFFECTIVE TECHNOLOGY

There the results of structure research, phase composition and properties of foam crystal materials being obtained by energy effective technology under low temperature roasting from compositions on the base of cullet and high calcium slag from brown coals burning. It is determined that high calcium slag in quantity 30-40% with particle's size less 0.16 mm can be effectively used as a cullet substitution in compositions for obtaining foam crystal materials burnt at 800°C.

Keywords: foam crystal materials, high calcium slag, energy effective technology, structure, phase composition, properties

А.В. Богданов

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМ
КОТЛОМ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО
ЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

Предложена система регулирования основных параметров парового котла тепловой электростанции на основе многомерного четкого логического регулятора (МЧЛР), которая позволяет повысить экономичность процесса горения. Компенсация взаимного влияния контуров регулирования произведена дополнительной системой производственных правил, генерирующей функцию, являющейся зеркальным отображением относительно оси задающего воздействия функции, связывающей рассматривающий контур МЧЛР с остальными его контурами. Компенсирующая система получена на основе результатов восьми экспериментов на реальном объекте управления.

Ключевые слова: энергосбережение, четкие термы, компенсирующая система производственных правил, четкий логический регулятор, барабанный паровой котел.

И.М. Букарев, А.В. Жданов
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ
ПОКРЫТИЙ

Проведено исследование физико-механических свойств многослойных наноразмерных покрытий, нанесенных на режущий и штамповый инструмент, изготовленный из сталей Р6М5 и 40Х. Выявлены критические нагрузки при испытании покрытий на адгезионную прочность и износ. Показано, что при нанесении многослойных наноразмерных покрытий происходит снижение износа рабочих поверхностей за счет улучшения физико-механических свойств поверхностного слоя.

Ключевые слова: свойства, твердость, модуль упругости, коэффициент трения, покрытия.

A.V. Bogdanov

SYSTEM OF STEAM BOILERS BASED ON
THE MULTIDIMENSIONAL WELL-
UNDERSTOOD REGULATOR

The system of regulation of the basic parameters of the boiler thermal power plant based on the multidimensional clear logic controller (MCHLR), which improves the efficiency of the combustion process. Compensation for the mutual influence of control loops produced an additional system of production rules, generating function, which is a mirror image relative to the axis defining the impact of the function relating the circuit considering MCHLR with the rest of his outline. Compensating system is obtained based on the results of eight experiments on the real object of management.

Keywords: energy saving, clear terms, compensating system of production rules, a clear logic controller, drum boiler.

I.M. Bukarev, A.V. Zhdanov
EXPERIMENTAL RESEARCHES OF
PHYSICAL AND MECHANICAL
PROPERTIES OF MULTILAYER
NANOSTRUCTURED COATINGS

A study of physical and mechanical properties of nanoscale multilayer coatings applied to cutting and die tools made of steels R6M5 and 40X. Identified the critical loads during testing of coatings on adhesive strength and wear. Shown that when applying multiple coatings of nanoscale there is a reduction of wear of working surfaces by improving the physical and mechanical properties of the surface layer.

Key words: properties, hardness, elastic modulus, coefficient of friction, coatings.

А.Ю. Власенко, Н.Н. Окулов
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ КОРРЕКТНОСТИ И
ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КАК
КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПОРТАЛА

В статье описана структура и основной функционал информационно-вычислительного портала (ИВП) КемГУ. Особое внимание уделено подсистеме «виртуальная лаборатория» и системе отладки MPI-программ. Изложен механизм интеграции системы отладки в ИВП.

Ключевые слова: информационно-вычислительный портал, контроль корректности, параллельная программа, кластерные системы.

В.И. Воловач
ДОСТОВЕРНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ ДАТЧИКАМИ
ТУРНИКЕТНОГО ТИПА БЕЗ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ С
НЕКОГЕРЕНТНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ

Рассмотрены режимы работы радиотехнических датчиков турникетного типа. Произведена оценка достоверности обнаружения объектов в случаях линейного и квадратичного детектирования сигнала. Получены выражения для определения вероятностей ложного срабатывания и пропуска объекта при использовании датчиков без преобразования частоты.

Ключевые слова: достоверность обнаружения, некогерентный приемник, среднее значение и дисперсия выходного напряжения, вероятности правильного обнаружения, ложного срабатывания, пропуска объекта.

В.И. Воловач, Е.В. Гурина
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ
СИГНАЛОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОХРАННЫХ
СИСТЕМ

Дано определение оптимальной обработки сигналов для радиотехнических устройств

A.U. Vlasenko, N.N. Okulov
SYSTEM OF AUTOMATED
CORRECTNESS CONTROL AND VIRTUAL
LABORATORY AS COMPONENTS OF
INFORMATIONAL AND CALCULATING
PORTAL

The paper describes structure and main functional of Kemerovo State University's Informational and Calculating Portal (ICP). Special attention is paid to subsystem «virtual laboratory» and debugging system of MPI-programs. Also the integration mechanism of debugging system to ICP is given.

Keywords: Informational and Calculating Portal, correctness control, parallel program, cluster system.

V.I. Volovach
RELIABILITY OF DETECTION OF
OBJECTS GAUGES THE TURNSTILE OF
TYPE WITHOUT TRANSFORMATION OF
FREQUENCY WITH NOT COHERENT
RECEIVERS

Operating modes of radio engineering turnstile type are considered. The estimation of reliability of detection of objects in cases of linear and square-law detecting of a signal is made. Expressions for definition of probabilities of false operation and the object admission are received at use of gages without frequency transformation.

Keywords: reliability of detection, not coherent receiver average value and dispersion of target pressure, probability of correct detection, false operation, the object admission.

V.I. Volovach, E.V. Gurina
SOME FEATURES OF OPTIMUM
PROCESSING OF SIGNALS OF RADIO
ENGINEERING DEVICES OF DETECTION
OF SPATIAL SECURITY SYSTEMS

Definition of optimum processing of signals for radio engineering devices of detection is made. Are shown characteristic for separate types of devices of detection of simplification of

обнаружения. Показаны характерные для отдельных типов устройств обнаружения упрощения классического определения. Показано, что для решения задачи обнаружения могут быть использованы корреляционный способ и способ согласованной фильтрации. Приведена оптимальная структура корреляционного приемника устройства обнаружения.

Ключевые слова: радиотехнические устройства обнаружения, оптимальная обработка сигнала, корреляционный способ, задача обнаружения, оптимальный приемник.

А.В. Ганичев
ОПТИМАЛЬНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ
ОБРАЗОВ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ
РАССТОЯНИЯ

В статье рассмотрены вопросы принятия решений о классах объектов при недостаточной или плохо структурированной информации о законах распределения признаков распознавания. В этих условиях целесообразно использовать вместо байесовских статистических решений более простые и наглядные методы, основанные на функциях расстояния. Получены и доказаны математические соотношения, когда при такой замене не нарушается оптимальность принимаемых решений.

Ключевые слова: признак, класс, решение, функции расстояния, меры близости, эталонная точка, качество распознавания.

Г.М. Гончаров, И.С. Гуданов, А.А. Ломов
О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАХОДНОЙ
ЗОНЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛОВ НА
КАЧЕСТВО АГРЕГИРОВАННЫХ
ПРОФИЛЕЙ

Рассмотрен численный подход к моделированию процесса соэкструзии кабельной изоляции. Описана последовательность конечно-элементного расчёта гидродинамических и энергосиловых характеристик на примере дуплексной экструзии изоляции кабелей.

classical definition. It is shown that for the decision of a problem of detection the correlation way and a way of the coordinated filtration can be used. The optimum structure of the correlation receiver of the device of detection is resulted.

Keywords: radio engineering devices of detection, optimum processing of a signal, correlation way, detection problem, the optimum receiver.

A.V.Ganichev
OPTIMALITY OF CLASSIFICATION OF
IMAGES BY MEANS OF FUNCTIONS OF
DISTANCE

In clause questions of decision-making on classes of objects are considered at the insufficient or badly structured information on laws of distribution of attributes of recognition. In these conditions it is expedient to use instead of bayes statistical decisions more simple and the visual teaching methods based on functions of distance. Mathematical parities when at such replacement the optimality of accepted decisions is not broken are RCVed and proved.

Keywords: an attribute, a class, the decision, functions of distance, a measure of the affinity, a reference point, quality of recognition.

G.M. Goncharov, I.S. Gudanov, A.A. Lomov
ABOUT INFLUENCE OF PARAMETERS OF
THE INITIAL ZONE OF CYLINDRICAL
CHANNELS ON QUALITY OF THE
AGGREGATED PROFILES

The numerical approach to process modeling coextrusion cable isolation is considered. The sequence of certainly-element calculation of hydrodynamic, energy and power characteristics on an example duplex extrusion isolation of cables is described.

Keywords: coextrusion, multiplex forming

Ключевые слова: соэкструзия, мультимплексные формирующие головки, стратифицированное течение, агрегированные профили, заходной участок, резиновые смеси, численные методы.

К.Л. Горшкова, А.Р. Садыков, А.Р. Якупов
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ
СКВАЖИННЫХ ТЕРМОМЕТРОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ
В работе представлены результаты изучения возможности применения нечёткого регулирования при создании установки для поверки геофизических глубинных приборов.

Ключевые слова: нечеткая логика, нечеткий регулятор, скважинная термометрия, редактор правил, технические системы.

А.С. Григоров
ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В SQL-
ЗАПРОСАХ К БАЗАМ ДАННЫХ НА
ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕЙ
СТРУКТУРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ
ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАПРОСОВ

В данной работе представлена методика обнаружения аномалий в SQL-запросах к базе данных, основанная на оценке взаимосвязей между данными, появившимися в результате выполнения запроса. Рассматривается подход, заключающийся в оценке результата выполнения запроса путём вычисления плотности графа, отражающего корреляционные взаимосвязи между результирующими данными.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, системы обнаружения вторжений, плотность графа.

Н. Н. Дацун, Г. П. Жигулин, О. Ю. Королева
М. М. Несвит
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ
УЯЗВИМОСТЕЙ, ВКЛЮЧАЯ НДВ

Статья посвящена обзору современных методов оценки эффективности защищенности информационных систем от уязвимости, включая недеklarированные возможности (НДВ). Производится анализ

heads, stratified flow, aggregated profiles, initial a site, rubber blends, numerical methods.

K.L. Gorshkova, A.R. Sadykov, A.R. Ykupov
WELL THERMOMETER TEST SET WITH
USAGE OF FUZZY LOGIC

This paper presents study results of possibility of fuzzy control application at designing of geophysical subsurface devices test set.

Keywords: fuzzy logic, fuzzy controller, temperature survey, rule editor, technical system.

A.S. Grigorov
DETECTION OF ANOMALIES IN SQL-
REQUEST TO DATABASES ON THE
BASIS OF THE ESTIMATION OF
INTERNAL STRUCTURE OF RESULTS OF
PERFORMANCE OF INQUIRIES

This paper presents a method for detecting anomalies in the SQL-database queries based on an assessment of the relationship between the data from the query result. The approach consists in assessing the results of the query by calculating the density of the graph that reflects the relationship among result data.

Keywords: anomaly detection, intrusion detection systems, the density of the graph.

N.N. Dacun, G.P. Zhigulin, O.Yu. Koroleva,
M.M. Nesvit
METHODS OF THE ESTIMATION OF
SECURITY OF INFORMATION SYSTEMS
FROM VULNERABILITY, INCLUDING
NDV

The issues of review modern methods of protection assessment vulnerability, including undocumented opportunities, for information system. An analysis advantages and

преимуществ и недостатков рассматриваемых методов. disadvantages these methods is provided.

Ключевые слова: угрозы, информационная безопасность, система защиты, моделирование, риск, НДС.

Keywords: threatening, information security, protection system, modelling, risk, undocumented features.

А.П. Денисова, Т. А. Емельянова
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ
МНОГОСЛОЙНОЙ СТЕНЫ
МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

A.P. Denisova, T.A. Emeljanova
THE ALGORITHM OF CALCULATION OF
MULTILAYER WALL
CONSTRUCTION OF FEW-STORIED
BUILDINGS

Предложен алгоритм расчета многослойной конструкции стены. Создана программа расчета многослойных стен с внешними несущими слоями. Проведены численные эксперименты расчета многослойной стены для конструкции одноэтажного и мансардного жилых домов.

The algorithm of calculation of multilayer wall construction was proposed. The programme of calculation of multilayer walls with exterior bearing layers was created. The numerical experiments of calculation of multilayer wall for construction of one-storied and mansard residential buildings were made.

Ключевые слова: многослойная стена, алгоритм расчета, программа расчета.

Keywords: multilayer wall, algorithm of calculation, programme of calculation.

Л.С. Диньмухаметова, Е.В. Пояркова
ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ
НЕОДНОРОДНОСТИ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ
НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛЕЙ
ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

L.S. Dinmuchametova, E.V. Poyarkova
INFLUENCE OF MECHANICAL
HETEROGENEITY ON LIMITING
BEARING ABILITY OF WELDED
CONNECTIONS FROM STEELS OF THE
RAISED DURABILITY

Выявлено, что при сварке сталей повышенной прочности классов X65 и X75 имеет место образование мягких прослоек, оказывающих отрицательное влияние на несущую способность сварных соединений. Путем варьирования геометрии и степени неоднородности сварных соединений установлены зависимости изменения показателей предельной несущей способности от характера механической неоднородности. Обоснован комплексный критерий неоднородности сварных соединений, с использованием которого найдены аналитические выражения для оценки изменения показателей несущей способности методами неразрушающего контроля.

It is revealed that at welding of steels of the raised durability of classes X65 and X75 formation of the soft layers, making negative impact on bearing ability of welded connections takes place. By a variation of geometry and degree of heterogeneity of welded connections dependences of change of indicators of limiting bearing ability on character of mechanical heterogeneity are established. The complex criterion of heterogeneity of welded connections, with which use is proved analytical expressions for an estimation of change of indicators of bearing ability are found by methods of nondestructive control.

Ключевые слова: сварные соединения, механическая неоднородность, мягкие прослойки, несущая способность, диагностика, методы неразрушающего контроля.

Keywords: welded connections, mechanical heterogeneity, the soft layers, bearing ability, diagnostics, methods of nondestructive control.

А.С. Жив, Б.Р. Исакулов
ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ
ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И
МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ
КАЗАХСТАНА

На территории Западного Казахстана расположены главные промышленные предприятия нефтегазовой отрасли РК, комплексы по добыче и переработке хромитовых и боратовых руд, производству строительных материалов и т.д. В работе рассматриваются основы новых безотходных технологий обезвреживания и комплексного использования отходов в виде строительных материалов.

Ключевые слова: отходы, бетон, гипсохромошламовые вяжущие, арболит.

С.М. Зраенко
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ЦЕЛИ В РАДИОЛОКАТОРЕ С
СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

В работе представлены результаты синтеза оптимального алгоритма формирования изображения распределенной цели в радиолокаторе с синтезированной апертурой.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, распределенная цель, оптимальный алгоритм формирования изображения.

А.В. Ионов, Л.Л. Картовицкий,
Е.Ю. Марчуков, В.В. Терентьев,
А.А. Яковлев
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ЛОПАТОК ПЛОСКОЙ РЕШЕТКИ С ТЛЖТ-
РЕЛЬЕФОМ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматриваются современные подходы к изготовлению лопаток плоской решетки с ТЛЖТ-рельефом поверхности для проведения экспериментальных исследований. Выбрана конструкция плоской решетки. Определены способы изготовления лопаток. Определен

A.S. Zhiv, B.R. Isakulov
PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS
AND PRODUCTS BASED ON INDUSTRIAL
WASTE AND LOCAL RAW MATERIAL
RESOURCES OF KAZAKHSTAN

In the West Kazakhstan are the main industrial gas industry RK complexes for the extraction and processing of chromite ore and borate, building materials, etc. This paper deals with the foundations for new waste technologies disposal and comprehensive utilization of waste as construction materials.

Keywords: waste, concrete, hypsochrome sticks, arbolite

S.M. Zraenko
SINGULARITIES OF IMAGE
GENERATION OF THE DISTRIBUTED
TARGET IN THE SYNTHETIC APERTURE
RADAR

This paper presents the results synthesis of optimal algorithm of image generation of the distributed target in synthetic aperture radar.

Keywords: synthetic aperture radar, distributed target, optimal algorithm of image generation.

A.V. Ionov, L.L. Kartovitskiy, E.Y. Machukov,
V.V. Terentev, A. A. Yakovlev
MODERN APPROACHES TO
MANUFACTURING TECHNOLOGY
BLADES FLAT BARS WITH TLJT-
TERRAIN TO CONDUCT PILOT STUDIES.

Modern approaches to the construction of a flat lattice of blades with TLJT-terrain to conduct pilot studies. Selected design of flat bars. Identify ways to manufacture blades. Defined way to finishing received profiles. There is the prospect of the proposed approach.

Keywords: blades, flat grille, experiment,

способ доводки полученных профилей. Отмечается перспективность предлагаемого подхода.

technology manufacturing, Stereolithography, precision castings.

Ключевые слова: лопатки, плоская решетка, эксперимент, технология изготовления, стереолитография, высокоточное литье.

Б.Р. Исакулов

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ**

В работе использованы методы получения шлакощелочных вяжущих из отходов промышленности Казахстана и Средней Азии для получения легких бетонов.

Ключевые слова: шлакощелочное вяжущее, зола-унос, содосульфатная смесь, электротермофосфорный шлак.

B.R. Isakulov

**RESEARCH OF PROPERTIES
DROSSALKALINE OF THE KNITTING**

In work it is used methods of reception slag alkalinity knitting of the industry of Kazakhstan and Central Asia for reception of easy concrete.

Keywords: Slag alkalinity binder, ash – carryout, sulphatic sodic mixture, electric thermophosphorus slag.

С.В. Князев

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТАНОВОК
ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ЛИНИИ
РАСКАТКИ ПОДШИПНИКОВЫХ КОЛЕЦ**

В работе рассматривается проблема оптимизации работы индукционной нагревательной установки в стационарных и переходных режимах при произвольных начальных условиях. Показано, что в переходных режимах работы индукционного нагревателя с переменными параметрами оптимальный алгоритм управления, обеспечивающий в выходном сечении минимальное отклонение температуры от заданного значения при минимальном значении функционала качества, представляет собой кусочно- постоянную функцию, асимптотически приближающуюся к установившемуся значению.

Ключевые слова: проблема оптимизации, индукционный нагрев, оптимальный алгоритм управления.

S.V. Knyazev

**ENERGY EFFICIENT RUN MODES OF
INDUCTION HEATING UNITS IN
BEARING RING ROLLING LINE**

In article the optimization problem of induction heating unit operation in stationary and transitional modes at free initial conditions is considered. It is indicated that in transitional operation modes of induction heating unit with variable operation factors the optimal control algorithm, providing the minimal temperature deviation from the set point in the time of minimal functional quality value in exit section, is a piecewise constant function, asymptotically approximating to a steady – state value.

Keywords: the optimization problem, induction heating, the optimal control algorithm.

А.В. Колесников

**РАСЧЕТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА
СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ С
УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ**

Автор рассматривает вопросы учета

A.V. Kolesnikov

**CALCULATION OF BUILDINGS IN
SEISMIC EFFECTS INCLUDING
NONLINEAR EFFECTS**

The author examines the accounting for the

физической нелинейности в работе конструкций при сейсмических воздействиях. На конкретных примерах показывается актуальность такого рода исследований и пересмотра действующих норм проектирования в сейсмически опасных районах.

Ключевые слова: сейсмостойкость, землетрясения, расчет, нелинейность, акселерограмма, здание, динамика, масса, диссипация, жесткость, деформация, численные методы.

О.С. Лехов, Е.Ю. Раскатов
МНОГОУРОВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ
СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ
ПРОКАТКИ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

Описан алгоритм многоуровневой оптимизации параметров стана пилигримовой прокатки труб. Приведены результаты оптимизации технологических параметров процесса прокатки и параметров линии привода пилигримового стана.

Ключевые слова: оптимизация, алгоритм, критерий оптимизации, энергоёмкость, математическая модель, целевая функция, динамический момент.

О.С. Лехов, Е.Ю. Раскатов, Д.А. Соловьев
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В
МГНОВЕННОМ ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ С
ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ
КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ
ПИЛИГРИМОВЫХ СТАНОВ

Представлен анализ калибровок валков пилигримовых станков с позиции нагруженности оборудования, уровня и характера распределения напряжений в мгновенном очаге деформации

Ключевые слова: калибровка валков, силовые параметры, моделирование, очаг деформации, напряжения

О.С. Лехов, Е. Ю. Раскатов, В. В. Турлаев
ОЦЕНКА ОБЪЁМНОЙ МОДЕЛИ
ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ
ПРОКАТКИ ТРУБ

physical nonlinearity in structures under seismic actions. With specific examples showing the relevance of such studies and review of existing design standards to seismically hazardous areas.

Key words: Seismic, Earthquake, calculation, non-linearity, accelerogram, the building, the dynamics of the mass, dissipation, stiffness, deformation, numerical methods.

O.S. Lehov, E.U. Raskatov
A MULTI-LEVEL OPTIMIZATION OF THE
HOT PILGER ROLLING MILL

The algorithm of multi-level optimization of the pilger rolling mill is presented. The results of optimization of technological parameters of rolling process and parameters of the drive line pilger mill are demonstrated.

Keywords: optimization, algorithm, optimization criterion, power requirement, mathematical model, objective function, the dynamic moment

O.S. Lehov, E.U. Raskatov, D.A. Solovyev
STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE
IN AN INSTANT THE DEFORMATION IN
ORDER TO CHOOSE A RATIONAL
CALIBRATION ROLL PILGRIM MILL

The analysis of pilger mills rolls grooving from the position of mechanical equipment, stress distribution level and nature in the deformation zone is performed

Keywords: rolls grooving, power options, modeling, deformation zone, stress

O.S. Lehov, E.U. Raskatov, V.V. Turlaev
VALERIJ ASSESSMENT OF 3D-MODEL OF
THE PROCESS OF HOT ROLLING OF
PILGRIM PIPES

Создана математическая модель процесса пилигримовой прокатки труб с учётом нестационарности процесса от цикла к циклу. Модель позволяет определить энергосиловые, деформационные, кинематические параметры процесса, геометрические размеры прокатываемой трубы; выбрать рациональные параметры калибровки валков; выполнить комплексный анализ результатов моделирования процесса прокатки труб.

Ключевые слова: моделирование, обжатия, калибровка, расчётная модель, гильза, подача, напряжения

Д.С. Лобарёв
ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНО-
КВАДРАТИЧНОЙ ИГРЕ N ЛИЦ С
ВЕКТОРНЫМИ ФУНКЦИЯМИ
ВЫИГРЫША

В работе представлено решение дифференциальной линейно-квадратичной игры N лиц с векторными функциями выигрыша. Экспертные оценки представляют собой количественную информацию об относительной важности компонент функции выигрыша, относительно которых проводится линейная свертка. Решается бескоалиционная дифференциальная игра, используя принцип максимума Понтрягина.

Ключевые слова: дифференциальная игра, экспертные оценки, оптимальное управление, принцип максимума Понтрягина.

А.В. Логинов, В.И. Мельников,
А.Н. Соколов, Д.И. Шмелев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО
ИССЛЕДОВАНИЮ ДВУХФАЗНОГО ВОДО-
ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Данная статья содержит описание стенда для экспериментальных исследований двухфазного водо-воздушного потока. Рассмотрены предпосылки создания стенда. Проведен претестовый расчет для вертикального исследуемого канала.

Ключевые слова: двухфазная среда,

A mathematical model of the pilger tube rolling process has been developed with an account for non-stationary character of the process from cycle to cycle. The model enables the determination of the power-and-force, deformational and kinematics parameters and the rolled tube dimensions; choice of rational roll design parameters; carrying out a comprehensive analysis of the tube rolling process simulation results

Keywords: model-based analysis, cobbing, grooving, computational model, shell, batch, stress

D.S. Lobaryov
EXPERT ESTIMATIONS IN
DIFFERENTIAL LINEAR-QUADRATIC N
PERSON GAME WITH VECTOR PAYOFF
FUNCTIONS

In this paper the decision of the differential linear - quadratic game with vector payoff functions are presented. Expert estimations are defined the quantitative information on relative importance of a component for vector – valued payoff function. Differential game are solved by using Pontryagin's maximum principle.

Keywords: differential game, expert estimations, optimal control, Pontryagin's maximum principle.

А.В. Логинов, В.И. Мельников, А.Н. Соколов,
Д.И. Шмелев
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО
ИССЛЕДОВАНИЮ ДВУХФАЗНОГО ВОДО-
ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

This article is concerned with the description of the stand for experimental researches of a two-phase water-air flow. Preconditions for stand development are considered. Predesign for the investigated vertical channel is carried out.

Keywords: two-phase flow, vertical channel, horizontal channel, inclined channel, steam-

вертикальный канал, горизонтальный канал, наклонный канал, паросодержание, стенд.

content, stand.

А.В. Медведев, П.Н. Победаш
АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ
ЭФФЕКТИВНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ «ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
– НАЛОГОВЫЙ ЦЕНТР»

A.V. Medvedev, P.N. Pobedash
ASYMPTOTIC ANALYSIS OF EFFECTIVE
ECONOMIC DEVELOPMENT MODEL OF
THE SYSTEM «PRODUCER – TAX
CENTER»

На основе операционного исчисления и двухкритериальной динамической модели экономической системы (ЭС) «производитель – налоговый центр» предложена ее агрегированная модель. На модельных данных с использованием пакета прикладных программ (ППП) произведен численный асимптотический анализ эффективности инвестиционного проекта, описываемого указанной агрегированной моделью. Полученные результаты позволяют лицу, принимающему решения (ЛПР), оценивать инвестиционную привлекательность проекта развития рассмотренной ЭС как на конечном, так и на бесконечном горизонтах планирования.

On the basis of operational calculus and two criteria dynamic model of economic system «Producer – tax Center» offered its aggregated model. The model data using application package made an asymptotic analysis of the effectiveness of the investment project, described the aggregated model. The results allow the person making the decision to assess the investment attractiveness of the project development of the described ES on the bound and endless horizons of planning.

Keywords: investment project, package applications.

Ключевые слова: инвестиционный проект, пакет прикладных программ.

В.Ю. Мельцов, Г.А. Чистяков
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
СТРУКТУРЫ КРИПКЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ВЕРИФИКАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ
АЛГОРИТМОВ

V.Y. Meltsov, G.A. Chistyakov
DEVELOPMENT MODULES FOR
BUILDING KRIPKE STRUCTURE FOR A
SYSTEM OF VERIFICATION OF
PARALLEL ALGORITHMS

В работе представлены результаты разработки одного из модулей системы верификации параллельных алгоритмов, использующей для верификации аппарат логического вывода. Данный модуль выполняет построения структуры Крипке, эквивалентной заданному параллельному алгоритму. Модуль имеет расширяемую архитектуру, что позволяет синтезировать структуры Крипке для алгоритмов, разработанных для различных типов вычислительных систем.

This paper presents the results of the development of one of the modules of the system verification of parallel algorithms that are used to verify the inference engine. This module performs the construction of Kripke structures, equivalent to a given parallel algorithm. The module has an extensible architecture that allows synthesis of Kripke structures for algorithms developed for different types of computing systems.

Keywords: atomic predicate, Kripke structure, verification, a parallel algorithm.

Ключевые слова: атомарный предикат, структура Крипке, верификация, параллельный алгоритм.

В.В. Морозов

МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ
ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С
КОМПЕНСАЦИЕЙ АВТОКОЛЕБАНИЙ

Работа посвящена анализу динамики и разработке методов управления мехатронных модулей для компенсации автоколебаний. Объектом исследования является мехатронный модуль на базе бесконтактного вентильного двигателя, в полый ротор которого встроен роликвинтовой механизм. Описаны алгоритмы компенсации нелинейностей «зазор» и «сухое трение».

Ключевые слова: мехатронный модуль (ММ), роликвинтовой механизм (РВМ), система управления (СУ), автоколебания (АК), вентильный двигатель.

Ю.А. Новиков

ГЛИНИСТОГО ОСНОВАНИЯ,
УСИЛЕННОГО ПЕСЧАНЫМ
АРМИРОВАННЫМ МАССИВОМ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния водонасыщенного глинистого основания, усиленного песчаным армированным массивом. На основе экспериментальных исследований дана оценка эффективности использования песчаного армированного массива для повышения несущей способности водонасыщенного глинистого основания.

Ключевые слова: песчаный массив, армированный, напряженно-деформированное, экспериментальные, грунт, несущая способность, геосетка.

Е.А. Новикова

СИНТЕЗ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПО
КРИТЕРИЯМ ПЛАВНОСТИ

В статье предлагается подход и основные этапы синтеза мехатронных модулей по критериям плавности. Синтез включает в себя синтез по минимуму потребляемой энергии, качеству переходного процесса и выбор схем исполнительных механизмов. Предложены расчетные формулы и даны конкретные рекомендации по

V.V. Morozov

MECHATRONIC MODULES
TRANSLATION MOVEMENT
COMPENSATION OSCILLATIONS

The paper analyzes the dynamics and development of methods for control of mechatronic modules to compensate for the oscillations. The object of this study is mechatronic module based on contactless valve engine in the hollow shaft which is built roller screw mechanism. Algorithms are described compensation of nonlinearities "gap" and "dry friction".

Keywords: mechatronic module (MM), roller screw mechanism (RSM), a control system (CS), self-oscillation (AO), valve engine (VE).

Yu.A. Novikov

RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN
CONDITION CLAY SOIL REINFORCED
WITH SANDY PILE

The paper describes results of experimental research of stress-strain condition of water-saturated clay soil reinforced with sandy pile. Based on experimental research assessed the effectiveness increase of load bearing capacity water-saturated clay soil reinforced sandy pile.

Key words: sandy pile, reinforced, stress-strain, experimental, soil, ground, load bearing capacity, geogrid.

E.A. Novikova

SYNTHESIS OF MECHATRONIC UNITS
BY CRITERIA OF SMOOTHNESS

In article the approach and the basic stages of the synthesis of mechatronic units by criteria of smoothness is offered. Synthesis includes synthesis on a minimum of consumed energy, quality of transient and a choice of schemes of drive mechanisms. Settlement formulas are offered and concrete recommendations about constructive decisions of units are made.

конструктивным решениям модулей.

Ключевые слова: синтез, мехатронный модуль (ММ), исполнительный механизм (ИМ), кинематическая передаточная функция (КПФ), усилительно-преобразовательное устройство (УПУ).

А.П. Осипов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА
НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО РАБОЧЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ

В работе представлены результаты моделирования распределения абразивного материала на рабочей поверхности абразивного инструмента. Получены зависимости между геометрическими, физико-механическими и структурными параметрами инструмента и режимом резания.

Ключевые слова: рабочая поверхность, абразивный инструмент, характеристика, геометрические параметры

А.Е. Рогозин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СООТНОШЕНИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ
ПЕРЕДАЧЕ ПО ЗАНЯТЫМ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ
КАНАЛАМ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В работе анализируется возможность обеспечения передачи сигналов разовых сообщений по занятым телекоммуникационным каналам. Показана зависимость вероятности ошибки приема данных, от отношения «сигнал – помеха» для различных способов модуляции. Произведен анализ способов улучшения селекции сигналов регулярной информации и сигналов разовых сообщений.

Ключевые слова: телекоммуникационный канал, разовые сообщения, регулярная информация, мощность сигнала, широкополосный сигнал.

Key words: synthesis, mechatronic unit, drive mechanism, kinematic transfer function, intensifying converting device.

A.P. Osipov

THE INVESTIGATION OF THE
INFLUENCE OF ABRASIVE TOOL
CHARACTERISTICS ON TOOL SURFACE
PARAMETERS

The results of the distribution of abrasive material on abrasive tool surface was suggested. The expressions for the dependence of geometrical, mechanical and structural tool parameters on working conditions was obtained.

Keywords: tool surface, abrasive tool, characteristic, geometrical parameters

A.E.Rogozin

DEFINITION OF POWER PARITIES BY
SIMULTANEOUS TRANSFER ON THE
OCCUPIED TELECOMMUNICATION
CHANNELS OF THE OFFICE
INFORMATION

In work possibility of maintenance of signalling of single messages on the occupied telecommunication channels is analyzed. Dependence of probability of an error of reception of the data, on the relation «a signal – a hindrance» for various ways of modulation is shown. The analysis of ways of improvement of selection of signals of the regular information and signals of single messages is made.

Keywords: the telecommunication channel, single messages, the regular information, capacity of a signal, a broadband signal.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих редакционных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработке его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей
№6 2011

Направления:
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.
Подписано в печать 21.12.2011 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.
12,7 усл.печ.л. 14,7 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 406.

© Научно-технический вестник Поволжья
тел.(843) 216-30-35
факс:(843) 292-18-85
Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО «Научно-технический вестник Поволжья»