Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й
В Е С Т Н И К
П О В О Л Ж Ь Я

№4 2015

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2015

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №4 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – 192 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

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; *М.М. Арсланов* – д.ф-м.н., проф.; *Т.Р. Дебердеев* – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.; *А.Н. Николаев* – д.т.н, проф.; *В.К. Половняк* – д.х.н., проф.; *П.П. Суханов* – д.х.н., проф.; *В.Ф. Тарасов* – д.ф-м.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

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

УДК 60

ББК 30-1

 © Научно-технический вестник Поволжья, 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Минкин, Р.Х. Зиятдинов РОЛЬ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В ПРОЦЕССАХ ВУЛКАНИЗАЦИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ 9

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев, А.Г. Сироткина ОБОСНОВАНИЕ ФОРМУЛЫ ЛЕЖАНДРА $\pi_L(N)$ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ 12

С.В. Ершов, Н.М. Труфанова, Н.И. Антипин ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В ВИНТОВОМ КАНАЛЕ ЭКСТРУДЕРА И АДАПТЕРЕ 15

С.А. Лобов, А.В. Казаков ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ПОЛИМЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ СДВИГА 18

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ DEE 22

С.В. Рыков, В.А. Рыков, Г.А. Карпов, А.В. Свердлов ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРЕМЕННЫХ ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА 25

Е.В. Субботин, Р.Р. Зиннатуллин ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ 28

А.И. Филиппов, М.А. Зеленова СПОСОБ ОТЫСКАНИЯ ПЕРВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЗАДАЧИ О ПРОГРЕВЕ ПЛАСТА 31

С.Д. Ханин, Д.В. Рябоконь ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛООКСИДНЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТЯХ МИКРО- И НАНОМЕТРОВЫХ РАЗМЕРОВ 35

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т.Е. Иванова, А.В. Исмагилова ВЛИЯНИЕ АДАТОМОВ ТАЛЛИЯ НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕДИ 38

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев, В.А. Кривошеев, А.Т. Кулаков ВЛИЯНИЕ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯГАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МОНТАЖНУЮ МАКРОГЕОМЕТРИЮ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА 42

В.Т. Бобронников, Хуан Ичун АНАЛИЗ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ 45

Е.Ф. Бояркина, В.Г. Логачев МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА УДС КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ 51

Н.М. Труфанова, В.А. Будаян ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ КАБЕЛЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ ЧЕРЕЗ СТЕНУ ИЛИ ПЕРЕКРЫТИЕ 54

И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПЫТАНИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С АВТОНОМНЫМ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕМ 58

А.А. Ершов, А.В. Теренчук СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ШТОРМОВОГО ПЛАВАНИЯ СУДНА 62

А.А. Ершов, Д.А. Хухарев ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ШВАРТОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ 65
А.В. Иващенко, М.В. Фролова БИЗНЕС-СИМУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ 68
И.В. Кирсяев, В.В. Черняев РАСЧЕТ РЕЖИМА РАБОТЫ СПЭ-КАБЕЛЯ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ЭКРАНАМИ 72
И.Б. Крылов РАЗРАБОТКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ 75
Н.П. Крюков, В.Н. Турченко, С.Ю. Гамаюнов АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА 79
М.А. Куликов ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРА КОАГУЛЯНТА ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА АММИАКА 85
Е.Н. Леонов ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ И МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ 88
А.А. Минаев МЕДИАТОРНАЯ СЕТЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ 91
Д.В. Моисеев СУЩЕСТВОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПОСТОЯНСТВА ЗАМКНУТЫХ МАРШРУТОВ НАИСКОРЕЙШЕГО ОБЛЕТА ЗАДАННОГО НАБОРА ТОЧЕК В ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ВЕТРА 96
П.А. Мошков КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ЛЕГКИХ ВИНТОВЫХ САМОЛЕТОВ НА МЕСТНОСТИ 101
Н.И. Никора, А.С. Чепурненко, А.Е. Дудник УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО СТЕРЖНЯ В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТИ 107
А.И. Симонов МЕТОД АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА СЛЕДСТВИЙ С ПОСТРОЕНИЕМ СХЕМЫ ВЫВОДА 111
А.Е. Терлыч, А.Г. Щербинин ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ НА ВЕЛИЧИНУ ДОПУСТИМОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ И ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ 118
Н.М. Труфанова, М.В. Бачурина, А.В. Бондаренко ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕХСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS FLUENT 122
Н.М. Труфанова, Н.А. Костарев ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ 126
А.Ю. Тужилкин, А.А. Захаров НАХОЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБЛИЖЕННОГО СРАВНЕНИЯ ГРАФОВ 130
О.И. Усович, Н.М. Труфанова ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ УПЛОТНЕНИИ КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА 133
В.Б. Филатов ВЛИЯНИЕ СИЛ ЗАЦЕПЛЕНИЯ В НАКЛОННОЙ ТРЕЩИНЕ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА 136
Д.А. Харлямов, Р.Р. Зиннатов, Г.В. Маврин, И.Г. Шайхиев ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА 139
И.В. Храмцов, В.В. Пальчиковский, Е.В. Шаврина ВЫБОР РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТВОДА ВОЗДУШНОЙ СТРУИ В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ 142
Л.И. Чайкин, А.А. Шопперт ВЛИЯНИЕ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ НА ПРОЦЕСС СГУЩЕНИЯ КРАСНЫХ ШЛАМОВ В ЦИКЛЕ БАЙЕРА 145

Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ 148
С.А. Шишлов, А.Н. Шишлов ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЯЧЕЕК ВЫСЕВАЮЩЕГО ДИСКА НА ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН СОИ 151
А.Г. Щербинин, А.В. Гущин МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ 154
А.Г. Щербинин, К.Ф. Корзникова ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПВХ-ПЛАСТИКАТА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 КВ 157
А.Г. Щербинин, С.В. Стариков РАСЧЁТ РАБОЧИХ ТОКОВ СИЛОВЫХ ШАХТНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПВХ-ПЛАСТИКАТА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 КВ 160
Б.С. Юшков, А.С. Сергеев ТРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗАННЫХ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА СКЛОНАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 163
С.А. Ямашкин ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 173

АННОТАЦИИ 176

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, R.H. Ziyatdinov AS A PLASTICIZER IN THE CURING PROCESS NANOSTRUCTURED POLYSULFIDE OLIGOMERS 9

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

V.V. Drujinin, A.A. Lazarev, A.G. Sirotkina RATIONALE FOR FORMULA LEGENDRE $\pi_L(N)$ FOR THE NUMBER OF PRIMES 12
S.V. Ershov, N.M. Trufanova, N.I. Antipin INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER PROCESSES IN EXTRUDER SCREW CHANNEL AND ADAPTER 15
S.A. Lobov, A.V. Kazakov STUDY POLYMER VISCOSITY DEPENDING ON THE TEMPERATURE AND SHEAR RATE 18
S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov THE EQUATION FOR THE SATURATION LINE DEE 22
S.V. Rykov, V.A. Rykov, G.A. Karpov, A.V. Sverdlov FEATURES DESCRIBE THE CRITICAL REGION IN THE VARIABLES PRESSURE AND TEMPERATURE 25
E.V. Subbotin, R.R. Zinnatullin EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MELT POLYMER RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS AT NUMERICAL SIMULATION OF EXTRUSION PROCESS 28
A.I. Filippov, M.A. Zelenova METHOD FOR FINDING ASYMPTOTIC EXPANSIONS OF THE FIRST COEFFICIENT PROBLEM OF FORMATION WARMING 31
S.D. Khanin, D.V. Ryabokon THE ELECTRICAL AND OPTICAL METHODS OF THE PHASE STRUCTURE CHANGES DETECTION IN METAL-OXIDE SYSTEMS IN THE AREAS OF THE MICRO AND NANOMETER SIZES 35

CHEMICAL SCIENCE

T.E. Ivanova, A.V. Ismagilova THE INFLUENCE OF ADATOMS OF THALLIUM ON INITIAL STAGES OF COPPER ELECTROCRISTALLISATION 38

ENGINEERING SCIENCE

M.N. Akhmetov, N.D. Akhmetov, M.M. Gimadeev, V.A. Krivosheev, A.T. Kulakov INFLUENCE OF FORM TOLERANCE AND MATING PARTS SURFACE POSITION ON CYLINDER LINER ASSEMBLY MACROGEOMETRY 42
V.T. Bobronnikov, Huang Yichong ANALYSIS OF FLIGHTS TO THE MOON 45
E.F. Boyarkina, V.G. Logachev THE MODELLING OF THE NUMBER OF PASSENGER CARS IN THE CITY ROAD NETWORK AS THE INSTRUMENT OF ECOLOGICAL CONTROL 51
N.M. Trufanova, V.A. Budayan NUMERICAL ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELDS AND PERFORMANCE OF CABLE AT LAYING THE WALL OR CEILING 54
I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev THE CONCEPT OF AEROSPACE ENGINEERING REMOTE MONITORING SYSTEMS FOR MANUFACTURING AND TESTING PROCESSES BASED ON WIRELESS MULTIGATEWAY SENSOR NETWORK WITH A STANDALONE WEB APPLICATION 58
A.A. Ershov, A.V. Terenchuk WAYS TO AUTOMATE STORM NAVIGATION OF THE VESSEL 62
A.A. Ershov, D.A. Huharev ENSURING SAFE AND EFFICIENT MOORING OPERATIONS 65
A.V. Ivaschenko, M.V. Frolova BUSINESS SIMULATOR AS A TOOL FOR STAFF INTERACTION MANAGEMENT IN CROSS-FUNCTIONAL TEAMS 68

I.V. Kirsyaev, V.V. Chernyaev THE CALCULATION MODE OF THE XLPE CABLE WITH ALUMINUM SCREENS 72
I.B. Krylov DEVELOPMENT OF AGENT-BASED INTELLIGENT LEARNING SYSTEMS OF COMPUTER-AIDED DESIGN 75
N.P. Kryukov, V.N. Turchenko, S.J. Gamayunov ANALYSIS OF THE CONDITIONS AND SAFETY OF WORKERS ENGAGED IN MAINTENANCE AND REPAIR OF PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT 79
M.A. Kulikov PREPARING A SOLUTION OF A COAGULANT FROM WASTE AMMONIA SYNTHESIS CATALYST 85
E.N. Leonov THE OBJECTIVE FUNCTION AND METHODS OF ANALYSIS IN THE DESIGN OF ELECTRICAL SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION INSTALLATIONS 88
A.A. Minaev MEDIATOR NETWORK FOR DISTRIBUTED DIAGNOSTICS 91
D.V. Moiseev EXISTENCE AND CONSTRUCTION AREAS OF CONSTANT FASTEST CLOSED FLIGHT-AROUNDS THE SET POINTS IN THE CONSTANT WIND 96
P.A. Moshkov CLASSIFICATION OF COMMUNITY NOISE SOURCE BY LIGHT PROPELLER AIRCRAFTS 101
N.I. Nikora, A.S. Chepurnenko, A.E. Dudnik THE STABILITY OF THE POLYMER ROD UNDER CONDITIONS OF NONLINEAR THERMOVISCOELASTICITY 107
A.I. Simonov METHOD OF ABDUCTIVE LOGICAL INFERENCE OF CONSEQUENCES WITH CONSTRUCTION THE INFERENCE SCHEME 111
A.E. Terlych, A.G. Shcherbinin EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CURRENT LOAD AND THE COOLING PROCESS OF POWER CABLES DEPENDING ON THE CABLES LAYOUT 118
N.M. Trufanova, M.V. Bachurina, A.V. Bondarenko RESEARCH OF THREE-LAYER FLOW OF POLUMER MELTS USING SOFTWARE PACAGET ANSYS FLUENT 122
N.M. Trufanova, N.A. Kostarev RESEARCH PROCESS OF HEAT AND MASS TRANSFER IN AN OIL WELL 126
A.Y. Tuzhilkin, A.A. Zakharov FINDING MATCHES IN THE IMAGES USING INEXACT COMPARISON OF GRAPHS 130
O.I. Usovich, N.M. Trufanova CHOICE OF RATIONAL MODE CABLE LINES AT CONSOLIDATION OF THE CABLE CHANNEL 133
V.B. Filatov THE INFLUENCE OF THE AGGREGATE INTERLOCK FORCES IN THE INCLINED CRACK ON THE STRESS STATE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN THE ZONE OF THE TRANSVERSE BENDING 136
D.A. Kharlyamov, R.R. Zinnatov, G.V. Mavrin, I.G. Shaikhiev SEWAGE TREATMENT FROM HEAVY METALS WITH APPLICATION OF THE MAGNETIC COMPOSITE SORBENT ON THE BASIS OF A WASTE OF A WOOD FIBRE 139
I.V. Khramtsov, V.V. Palchikovskiy, E.V. Shavrina CHOICE OF LOCATION OF OUTTAKE SYSTEM FOR AIR JET IN ANECHOIC CHAMBER 142
L.I. Chaikin, A.A. Shoppert EFFECT OF ELECTROSTATIC DUST ON THE THICKENING OF RED MUD IN THE BAYER CYCLE 145
E.S. Shelihov, A.M. Chernousova AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION NONRIGID SHAFTS 148
S.A. Shishlov, A.N. Shishlov THE INFLUENCE ANGLE INCLINATION CELLS OF A SEED DISC ON INJURY SEEDS OF SOYA 151
A.G. Shcherbinin, A.V. Gushchin MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER CABLE LINES 0.4 kV 154
A.G. Shcherbinin, K.F. Korznikova DETERMINATION OF CURRENT LOADS OF POWER CABLES WITH PVC INSULATION 6 KV 157

A.G. Shcherbinin, S.V. Starikov CALCULATION OF OPERATING CURRENT POWER MINE INSULATED CABLES PVC 6 KV 160
B.S. Yushkov, A.S. Sergeev THREE LABORATORY EXPERIMENTAL STUDIES ASSOCIATED WITH THE FORMATION OF TRANSVERSE CRACKS ON THE SLOPES OF ROADS 163
S.A. Yamashkin HYBRID ANALYSIS SYSTEM OF REMOTE SENSING DATA 173

ABSTRACTS 176

В.С. Минкин д.х.н., Р.Х. Зиятдинов к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, yerus@yandex.ru, zamilid@kstu.ru

РОЛЬ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В ПРОЦЕССАХ ВУЛКАНИЗАЦИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Методом спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) исследовалось влияние пластификатора на кинетику формирования полимерной сетки. Контроль за скоростью процесса вулканизации осуществлялся по изменению времени спин-спиновой релаксации T_2. Показана связь времени T_2 с продолжительностью процесса вулканизации.

Ключевые слова: *пластификатор, вулканизация, ЯМР, олигомер, спин-спиновая релаксация.*

Известно, что введение пластификатора дибутилфтала (ДБФ) в состав герметиков на основе полисульфидных олигомеров (ПСО) способствует формированию более плотной и однородной полимерной сетки [1,2]. В связи с этим большой интерес представляет исследование влияния пластификатора на кинетику процесса формирования полимерной сетки из ПСО.

На рис.1 приведены кинетические кривые процесса вулканизации полисульфидного олигомера диоксидом марганца в присутствии пластификатора (вулканизующая паста №9), и без него. Ранее было показано [1,2], что сравнение скоростей процессов отверждения полисульфидных олигомеров можно проводить по значениям $1/\tau_{min}$, где τ_{min} – время, за которое достигается минимальное значение времени спин-спиновой релаксации T_2.

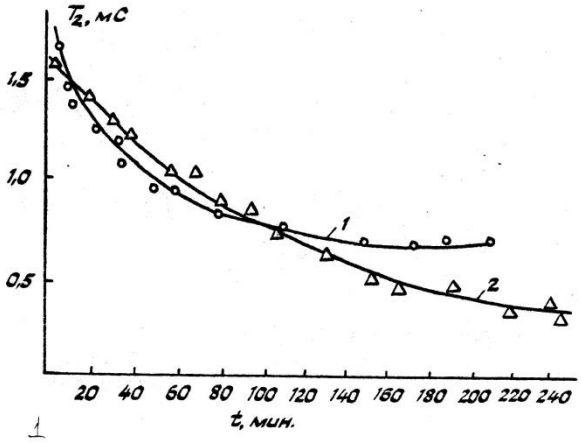


Рис.1 – Изменение времени спин-спиновой релаксации T_2 в процессе вулканизации ПСО MnO_2 при 25ºС: 1 – в присутствии ДБФ (вулканизующая паста №9), 2 – без ДБФ.

С увеличением концентрации дибутилфталата в композициях на основе ПСО заметно ускоряется отверждение олигомера, а скорости процесса, найденные как $1/\tau_{min}$, изменяются симбатно дозировке пластификатора (табл.1).

Таблица 1. Влияние дозировки пластификатора на скорость отверждения композиций на основе ПСО

Количество ДБФ, % мас.	$(1/\tau_{min})\cdot 10^3$,мин$^{-1}$
0	0,85
0,25	3,33
0,33	4,17
0,47	5,55

Это может быть обусловлено влиянием полярности среды на скорость окисления олиготиолов. Действительно, при фиксированном количестве (47% масс.) пластификатора

наблюдается рост константы скорости вулканизации симбатно увеличению его полярности (табл.2). Однако повышение дозировки дибутилфталата может привести к чрезмерному ускорению процесса, что нежелательно, поскольку высокие скорости вулканизации оказываются причиной повышенной дефектности полимерной сетки.

Таблица 2. Влияние полярности среды на скорость окисления олиготиолов.

Показатель	Пластификатор		
	Гексан	ДБФ	ДМФА
Дипольный момент пластификатора Кл·м по данным	0,08	2,75	3,88
Эффективная константа* скорости вулканизации до гель-точки $K \cdot 10^3$ мин$^{-1}$	0,96	1,90	2,84

Действительно, рассчитанные по экспериментальным данным значения вторых моментов линии поглощения ЯМР при низких температурах для вулканизаторов, полученных при использовании значительных количеств пластификатора, имеют более низкие значения, чем для вулканизаторов, полученных в отсутствие дибутилфталата (табл.3).

Таблица 3. Значения вторых моментов линии ЯМР вулканизатов ПСО при температуре -80ºС.

Содержание ДБФ, % масс.	$\Delta H_2^2 \cdot 10^{-4}$, (А/м^2)
-	28,2
40	30,2
50	26.4
75	25,2
100	23,8

Следовательно распределение пластификатора на нанокластерных областях диоксида марганца ускоряет по крайней мере диффузию компонентов, участвующих в отверждении ПСО, но при его высоких дозировках скорость процесса достигает чрезмерной величины, что не способствует формированию высокой концентрации химически сшитых цепей и(или) плотности упаковки молекулярной сетки.

Контроль за скоростью процесса вулканизации по изменению времени спин-спиновой релаксации T_2 может осуществляться в реальном времени. Поэтому данная процедура должна рассматриваться как экспресс-метод изучения кинетики отверждения олигомеров, который к тому же может быть легко реализован в лабораторных условиях.

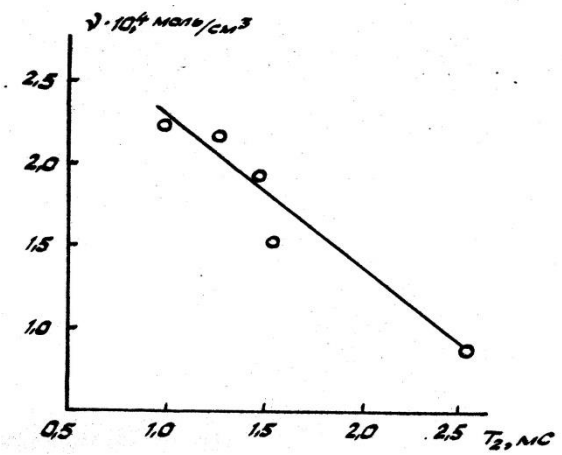


Рис.2 – Зависимость времени спин-спиновой релаксации T_2 от плотности эффективных цепей молекулярной сетки (1,2) ненаполненных вулканизатов 30 ПСО.

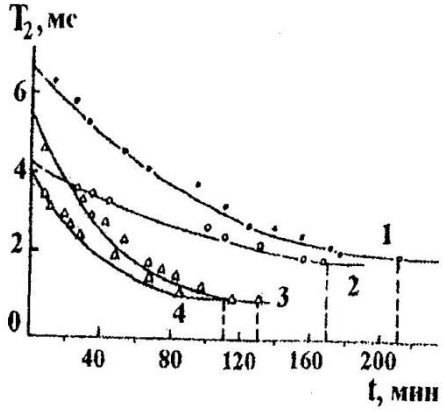


Рис.3 – Зависимость времени T_2 от продолжительности процесса вулканизации ПСОэ Вулканизующий агент: MnO_2, $Na_2Cr_2O_7$ (1,2), наполнитель – технический углерод.

Кроме того, существует прямая корреляция между плотностью эффективных цепей полимерной сетки и значениями T_2 вулканизатов, в частности ПСО (рис.2). Поэтому, используя зависимость $T_2 = f\ (v_{эфф})$ и экспериментально найденные значения T_2, можно в реальном временном масштабе оценивать эффективность процесса формирования полимерной сетки и влияние на него наноструктуры пластификатора.

Из кинетических кривых процесса вулканизации (рис.3) следует, что введение наполнителя (технический углерод П-803) в количестве 30 мас. ч. В среднем в 2-3 раза сокращает время спин-спиновой релаксации. Скорость процесса вулканизации ПСО в присутствии наполнителя независимо от типа вулканизирующего агента заметно возрастает, особенно при повышении температуры вулканизации (табл.4).

Таблица 4. Значения эффективных констант скоростей процесса вулканизации ПСО.

Вулканизующий агент	Наполнитель	Температура вулканизации, ºС	$K_{эфф}\cdot10^3$, мин$^{-1}$
Бихромат натрия	–	20 40 60	6,35 19,70 27,2
	30 мас. ч.	20 40 60	6,51 20,40 54,50
Диоксид марганца	–	20 40 60	2,82 7,73 16,65
	30 мас. ч.	20 40 60	3,82 9,60 24,60

Список литературы

1. *Минкин В.С., Иванов Б.Н., Костромин Р.Н., Чистяков В.В.* Новые герметизирующие композиции на основе полисульфидных олигомеров. Сообщение 1. // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. – Т.14. №18, С. 322-324.

2. *Иванов Б.Н., Минкин В.С., Костромин Р.Н., Билалов М.И.* Супермолекулярная и нанокластерная структуры как две основные составляющие органических нестехиометрических соединений. // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2013. – Т.16. №8, С. 38-40.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.06

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев, А.Г. Сироткина

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт, кафедра высшей математики
г. Саров, vvdr@newmail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМУЛЫ ЛЕЖАНДРА $\pi_L(N)$ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Аналитически получена формула числа простых чисел на заданном отрезке в концепции двух буферных зон. В частном случае она переходил в эмпирическую формулу Лежандра, т. е. впервые дано логическое обоснование. Показаны другие аналоги формулы Лежандра.

Ключевые слова: *формула распределения простых чисел, функция Лежандра.*

Вопрос о распределении простых чисел на числовой оси имеет многовековую историю и к настоящему времени сводится к следующему. Существуют две эмпирические (подгоночные) формулы числа простых чисел (ПЧ) на отрезке $[2; N]$: Лежандра $\pi_L(N)$ и Гаусса $\pi_G(N)$, которые приведены во всех учебниках и задачниках по теории чисел [1-3],

$$\pi_L(N) = \frac{N}{ln\, N - 1{,}08366}; \quad \pi_G(N) = \int_2^N \frac{dx}{ln\, x}. \tag{1}$$

Кроме того, существует аналитическая точная формула Римана

$$\pi_R(N) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\varsigma(n+1)} \cdot \frac{(lnN)^n}{n!}, \tag{2}$$

где суммирование ведется по всем нулям функции Римана $\varsigma(s)$. Формулой (2) пользоваться практически невозможно, так как нетривиальные нули функции Римана есть комплексные числа, гипотетически имеющие действительную часть s равную $Res = 0{,}5$. При этом они считаются численными методами и в (2) входит их бесконечная сумма.

В статье Дружинина [4] была получена более простая, чем (2), формула точного числа простых чисел на произвольном отрезке. Однако она также требует определенных расчетов и знания некоторого предыдущего набора ПЧ.

Мы в этой статье предлагаем простую приближенную формулу для $\pi_{DL}(N)$ которая выводится аналитически по теории вероятностей, и в некотором частном случае переходит в $\pi_L(N)$. Частично этот вопрос затрагивался в статье авторов [5]. В данной работе дано более подробное и расширенное обоснование функции $\pi_L(N)$, а также новые ее аналитические виды. Тем самым впервые аналитически обосновывается формула Лежандра. При очень больших $N \to \infty$ правильность $\pi_L(N)$ была обоснована Чебышевым [3].

Наш вывод $\pi_{DL}(N)$ основан на концепции двух буферных зон (БЗ) на последовательности ПЧ. Будем нумеровать ПЧ в порядке возрастания: $\{p_1 = 2;\ p_2 = 3; p_3 = 5; p_4 = 7; p_5 = 11; \dots;\ p_{20} = 71; \dots\}$. Первая БЗ $A(n) = [p_{n+1};\ p_{n+1}^2 - 2]$ отрезок числовой оси. Если мы удалим все числа кратные предыдущим ПЧ $2 \le p \le p_n$, то на отрезке $A(n)$ останутся только ПЧ. Например, $n = 2,\ A(2) = [5;\ 23]$. На этом отрезке остались ПЧ $\{p_3 = 5; p_4 = 7;\ p_5 = 11; p_6 = 13; p_7 = 17; p_8 = 19;\ p_9 = 23\}$.

Вторая БЗ $B(n) = [1;\ \prod_{k=1}^{n} p_k]$ отрезок, включающий в себя (при $n \ge 4$) первую буферную зону $A(n)$. Характерной особенностью второй БЗ является то, что если мы удалим все числа кратные $2 \le p \le p_n$ и сами эти ПЧ, то во второй БЗ $B(n)$ останутся не удаленными точное количество чисел, как простых, так составных, а именно, $C_n = \prod_{k=1}^{n}(p_k - 1)$. Число C_n есть знаменитая функция Эйлера о числе взаимно простых чисел к набору $[p_1; \dots;\ p_n]$. Например, $B(3) = [1;\ 30]$, и количество чисел взаимно простых с $\{2; 3; 5\}$ на этом отрезке $C_3 = 1 \cdot 2 \cdot 4 = 8$. Это простые, кроме «1»,числа $\{1; 7; 11; 13; 17; 19; 23; 29\}$.

После этого мы можем найти вероятность числа, не удаленного на отрезке $B(n)$, как отношение количества благоприятствующих событий ко всем возможным событиям

$$\omega_n = \frac{C_n}{\prod_{k=1}^{n} p_k} = \prod_{k=1}^{n} \frac{p_k - 1}{p_k} = \prod_{k=1}^{n} \left(1 - \frac{1}{p_k}\right). \quad (3)$$

Расчетом такого произведения занимались Лежандр и Чебышев. Они предложили такую формулу

$$\omega_n = \frac{\alpha_n}{lnp_n}. \quad (4)$$

В (4) α_n медленно растет с ростом n от значения 0,49 до в (пределе $n \to \infty$) 0,561. Расположим N внутри $A(n)$, т.е. $p_{n+1} \le N \le p_{n+1}^2 - 2$. Первые $(n+1)$ ПЧ мы знаем, поэтому надо найти количество $\Delta(n)$ ПЧ на промежутке $(p_{n+1}; N]$. В результате

$$\pi_{DL}(N) = n + 1 + \frac{\beta_n \alpha_n}{lnp_n}(N - p_{n+1}). \quad (5)$$

В (5) $\Delta(n) = \beta_n \alpha_n (N - p_{n+1})/lnp_n$ вероятностное количество не удалённых чисел на промежутке $(p_{n+1}; N]$, которые все ПЧ. При этом ω_n опирается на всю огромную вторую буферную зону. Исследуемый же промежуток относительно мал, и находится в первой буферной зоне, а не где угодно, поэтому мы ввели поправочный коэффициент β_n, который учитывает реальное изменение плотности ПЧ в $B(n)$. Сам по себе коэффициент β_n меняется в пределах $(0{,}95 \div 2)$ и зависит от расположения N внутри первой ВЗ. Рассчитать его можно, используя формулу точного числа ПЧ [4]. В табл. №1 приведены расчеты по (5) при $N = 10p_n$

Таблица №1

Параметры формулы (5) при $N = 10p_n$.

n	p_n	p_{n+1}	N	$\pi(N)$	$\beta_n\alpha_n$
25	97	101	970	163	0,725
50	229	233	2290	340	0,764
75	379	383	3790	526	0,785
100	463	467	4630	624	0,770
110	601	607	6000	783	0,797

Пусть $N \approx p_n^2$, тогда, учитывая $\pi(N)$, можно оценить β_n по формуле ($\mu = N/1000$)

$$\beta_n \alpha_n = -0{,}00034 \cdot \mu^2 + 0{,}00401 \cdot \mu + 0{,}54932\ . \quad (7)$$

Например, взяв $N = 1000$, подбираем близкое p_n^2. Это $p_{11} = 31, p_{12} = 37$. Получаем $\pi_{DL}(1000) = 12 + (0{,}556 \cdot 963/3{,}434) = 168$ точное количество ПЧ.

Далее формулу (5) мы записываем в виде

$$\pi_{DL}(N) = \frac{0{,}5 \cdot N}{lnp_n - b_n} \quad (8)$$

и находим параметр $b_n = -0{,}00165 \cdot \mu^2 + 0{,}02415 \cdot \mu + 0{,}4345$, который с ростом n медленно меняется от 0,437 при $p_{25} = 97$ до 0,511 при $N = 10000$. Мы просто перегнали параметр $(\beta_n \alpha_n)$ в параметр b_n. Такой подход позволяет получить классическую формулу Лежандра. Так как $p_n = \sqrt{N}$, то подставляя p_n в (8) получаем

$$\pi_{DL}(N) = \frac{N}{lnN - 2b_n}\ . \quad (9)$$

При $N = 6000,\ b_n = 0{,}52$ получаем

$$\pi_{DL}(6000) = \frac{6000}{ln(6000) - 1{,}04} = 783{,}34.$$

Точное значение $\pi(6000) = 783$, по Лежандру $\pi_L(N) = 788$. Поскольку распределение ПЧ получается вычитанием из $\mathbb{N}$ множества арифметических прогрессий, то обойтись одной константой Лежандра $2b = 1{,}08366$ невозможно. Эта константа немного меняется.

В таблице №2 приведены результаты расчетов по (9) и значения π_L.

Придадим формуле Лежандра несколько другую форму. Будем в (5) брать соотношение $N \approx p_n^{3/2}$. При этом подгоночный параметр b_n^* записывается в виде

$$b_n^* = -0{,}0085 \cdot \mu^2 + 0{,}1301 \cdot \mu + 1{,}495.$$

Таблица № 2

Параметры формулы (9) при . $N \approx p_n^2$

N	$\pi(N)$	n	p_n	$2b_n$	$\pi_L N)$
1000	163	11	31	0,919	171,7
2000	309	14	43	1,001	306,9
3000	430	16	53	1,032	433,3
4000	550	18	61	1,024	554,7
5000	669	19	71	1,043	672,6
6000	783	22	79	1,036	787,8
7000	900	23	83	1,076	900,9
8000	1007	24	89	1,042	1012,2
9000	1117	24	89	1,047	1122,0
10000	1229	25	97	1,073	1230,5

Подставляя в (8) $p_{n+1} = N^{2/3}$, получаем новый вид распределения ПЧ

$$\pi_{DL}(N) = \frac{1{,}5 \cdot N}{2lnN - 3b_n^*}. \quad (10)$$

При таком подходе b_n^* в пределах табл. №2 меняется от 1,358 до 2,072, т.е. более сильно, чем в предыдущем случае. Надо отдать должное гениальности Лежандра правильно угадавшего среднюю формулу распределяя ПЧ при одном стабильном параметре.

Сама исходная формула является верной, так как при стремлении N к p_{n+1} результаты становятся более стабильными.

Авторы благодарят проф. Н.С. Шевяхова за обсуждение результатов статьи и ценные замечания.

Список литературы

1. *Ингам А.Э.* Распределение простых чисел, М. Ком.Книга, 2007.
2. *Дружинин В.В*. Детерминантный признак делимости. Саров, Альфа, 2012.
3. *Сизый С.В.* Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. *Дружинин В.В., Холушкин В.С*. НТВПБ, №2, 14-15, 2014.
5. *Druzhinin V.V., Lazarev A.A.. Larin M.S.* European Science Review, № 3-4, p. 14-15, 2015.

01.02.05

С.В. Ершов, Н.М. Труфанова д.т.н., Н.И. Антипин

Пермский национально исследовательский политехнический университет, электротехнический факультет, кафедра конструирование и технологии в электротехнике, Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В ВИНТОВОМ КАНАЛЕ ЭКСТРУДЕРА И АДАПТЕРЕ

Экструзия является основным способом наложения пластмассовых оболочек и изоляции в кабельном производстве. Основным конструктивным элементом экструдера является шнек. Качество пластмассовой изоляции значительно зависит от шнека и выбранного технологического процесса. В данной работе представлена трехмерная математическая модель и численный анализ процессов течения и теплопереноса в винтовом канале экструдера и выходного адаптера.

Ключевые слова: *математическая модель, экструзия, расплав полимера, диссипация.*

В целом работа экструдера сложна в физическом и математическом описании. На практике затруднительно проводить натурные исследования т.к. цена исследуемых материалов достаточно велика, и сам эксперимент занимает много времени и сил [4].

На рис. 1 изображена геометрия исследуемой модели, представляющая собой пять витков шнека в зоне дозирования и адаптер. Геометрические характеристики экструдера представлены в таблице 1. Теплофизические свойства материала - в таблице 2.

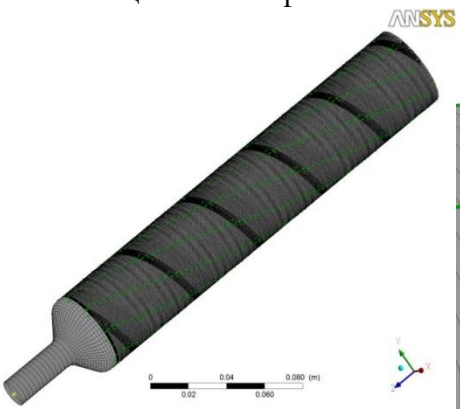


Рис. 1- Геометрия исследуемой модели

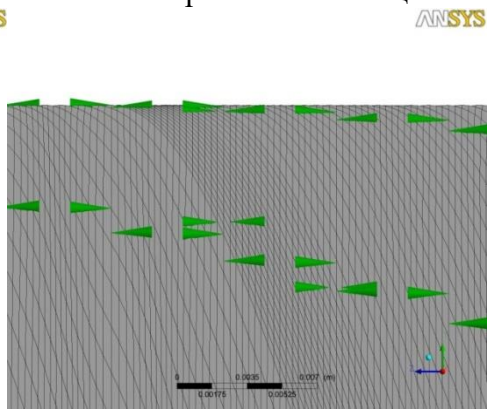


Рис. 2- Сетка модели

Таблица 1- Геометрические размеры исследуемой модели

Внутренний диаметр цилиндра, мм	45,1
Наружный диаметр шнека, мм	44,9
Шаг винтовой нарезки, мм	45
Толщина гребня, мм	4,5
Угол нарезки, град	29,3
Высота канала, мм	6,235
Высота зазора, мм	0,1

Таблица 2- Теплофизические свойства материала

ρ, кг/м^3	779
C, Дж/(кг*К)	2500
λ, Вт/(м*К)	0,182
μ, Па*с	10825
β, 1/К	0,018

Математическая модель тепломассопереноса основывается на уравнении неразрывности, количества движения, энергии и реологических уравнениях состояния. Введем следующие допущения: задача стационарная; течение ламинарное; плотность, теплоемкость и теплопроводность постоянные; используется принцип обращенного движения [2].

С учетом сделанных допущений математическая модель примет вид:

- уравнения движения:

$$\rho\left(V_x\frac{\partial V_x}{\partial x}+V_y\frac{\partial V_x}{\partial y}+V_z\frac{\partial V_x}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right)$$

$$\rho\left(V_x\frac{\partial V_y}{\partial x}+V_y\frac{\partial V_y}{\partial y}+V_z\frac{\partial V_y}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}\right)$$

$$\rho\left(V_x\frac{\partial V_z}{\partial x}+V_y\frac{\partial V_z}{\partial y}+V_z\frac{\partial V_z}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial z}+\left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right)$$

-уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x}+\frac{\partial V_y}{\partial y}+\frac{\partial V_z}{\partial z}=0$$

-уравнение энергии:

$$\rho_m C_m\left(\overline{V}_{z_m}\frac{\partial \overline{T}}{\partial \overline{z}}+\overline{V}_x\frac{\partial \overline{T}}{\partial \overline{x}}+\overline{V}_y\frac{\partial \overline{T}}{\partial \overline{y}}\right)=\frac{\partial}{\partial \overline{x}}\left(\lambda_m\frac{\partial \overline{T}}{\partial \overline{x}}\right)+\frac{\partial}{\partial \overline{y}}\left(\lambda_m\frac{\partial \overline{T}}{\partial \overline{y}}\right)+\mu_Э F$$

-реологические уравнения состояния:

$$\tau_{xx}=2\mu\frac{\partial V_x}{\partial x}$$

$$\tau_{yy}=2\mu\frac{\partial V_y}{\partial y}$$

$$\tau_{zz}=2\mu\frac{\partial V_z}{\partial z}$$

$$\tau_{xy}=\tau_{yx}=\mu\left(\frac{\partial V_x}{\partial y}+\frac{\partial V_y}{\partial x}\right)$$

$$\tau_{xz}=\tau_{zx}=\mu\left(\frac{\partial V_x}{\partial z}+\frac{\partial V_z}{\partial x}\right)$$

$$\tau_{yz}=\tau_{zy}=\mu\left(\frac{\partial V_y}{\partial z}+\frac{\partial V_z}{\partial y}\right)$$

где μ— эффективная вязкость, которая определяется по закону:

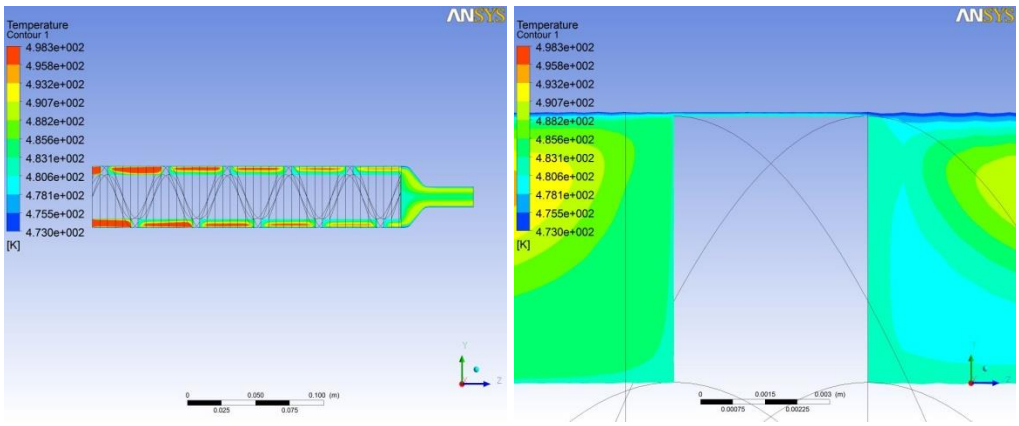
$$\mu=\mu_0\left(\frac{I_2}{2}\right)^{\frac{(n-1)}{2}}e^{-\beta(T-T_0)}$$

где μ_0 — начальная вязкость; I_2 — второй инвариант тензора скоростей деформации; n— показатель аномалии вязкости; T— температура; β — температурный коэффициент вязкости.

Были заданы следующие граничные условия: температура корпуса равна 200 ^oC; скорость вращения шнека 40 об/мин; расход материала - 0,00798475 кг/с; температура шнека 210^oC; температура расплава на входе в канал - 225^oC.

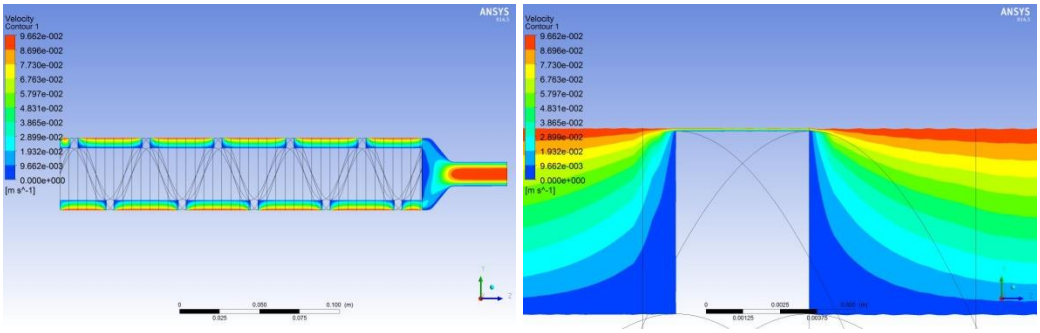
Поставленная задача решалась численно методом конечных элементов в среде инженерных расчетов *ANSYS*.

В результате решения были получены температурные поля и поля скоростей, которые представлены на рисунках 3, 4.



а- в исследуемой модели б- в зазоре

Рис. 3- Температурные поля в канале экструдера



а- в исследуемой модели б- в зазоре

Рис. 4- Поля скоростей в канале экструдера

Из рисунка 3 видно, что максимальная температура в канале находится в первых двух витках шнека т.к. температура расплава на входе экструдера равна 225 ^{o}C. Далее температура расплава уменьшается, поскольку температура корпуса и шнека меньше температуры полимера на входе в канал экструдера. Кроме того. можно утверждать, что диссипация в расплаве незначительна.

Из рисунка 4 видно, что перегревы в зазоре канала отсутствуют, а максимальная температура не превышает значения температуры корпуса.

На рисунке 5 видно, что максимальная скорость движения находится у корпуса экструдера т.к. в модели использовался принцип обращенного движения. Максимальная скорость в адаптере обусловлена наличием существенного градиента давления.

Таким образом, предложенная и реализованная математическая модель процесса течения и теплопереноса в винтовом канале экструдера с учетом нелинейности свойств расплава полимера и наличия зазора над гребнем шнека в режиме заданного расхода позволяет анализировать поля скоростей и температур во всем пространстве канала и выявлять закономерности течения полимеров при экструзии.

Список литературы

1. *Раувендааль К.* Экструзия полимеров. С-Петербург: Профессия, 2010. 768 с.
2. *Петров И.А., Славнов Е.В.* Моделирование течения в шнеке с радиальным зазором как системы с распределенной обратной связью, описываемой дифференциальным уравнением с запаздывающим аргументом // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т.5, №1. С. 107-113.
3. *Петров И.А., Славнов Е.В.* Модель утечек через радиальные зазоры в одношнековом экструдере со слабо изменяющейся по длине геометрией шнека // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т.5, №4. С. 461-468.
4. *Труфанова Н.М., Щербинин А.Г., Янков В.И.* Плавление полимеров в экструдерах./М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009.-336 с. *ISBN* 978-5-93972-420-5.

01.02.05

С.А. Лобов, А.В. Казаков

ПНИПУ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, phono@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ПОЛИМЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ СДВИГА

Настоящая статья посвящена описанию практических рекомендаций по использованию экспериментальных данных в программном комплексе ANSYS. Зависимости вязкости от температуры и скорости сдвига полимерного материала были получены в результате проведения экспериментов на ротационном реометре. В качестве образца использовался безгалогенный компаунд на основе полиэтилена Megolon HF 1876. В результате исследования была разработана математическая модель процесса течения полимера, получены графические изображения распределения вязкости по всему объему в зависимости от температуры и напряжения сдвига, а так же наблюдение за процессом с течением времени. Для подтверждения достоверности результатов численного исследования был произведён сравнительный анализ с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *практические рекомендации, вязкость, скорость сдвига, температура, ANSYS*.

При моделировании технологических процессов изначально требуется получить данные о свойствах материалов экспериментальным путем, а затем, основываясь на полученных результатах, проводить исследования. Следует отметить, что на сегодняшний день в открытой литературе опубликован целый ряд работ по исследованию реологических и теплофизических свойств полимеров [1-3]. Однако недостаточно полно представлены практические рекомендации, позволяющие перейти от натурного эксперимента к моделированию реальных технологических процессов. Таким образом, представляет научный интерес и является весьма актуальной разработка универсального подхода по совмещению эксперимента и численного исследования.

Исследования проводились для безгалогенного компаунда марки Megolon HF 1876. Проводилось пять экспериментов при разных температурах с шагом в 10°С (T = 150-190°С) с частотой вращения ротора в диапазоне f = 0,01-100 Гц для каждого эксперимента.

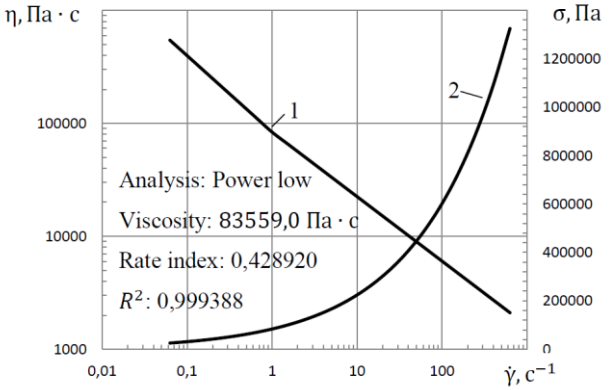


Рис. 1 – Зависимость вязкости (1) и напряжения (2) от скорости сдвига

Из графика (рис. 1, кривая 1) видно, что вязкость уменьшается с увеличением скорости сдвига. Для теоретического описания был использован степенной закон, из которого видно, что при увеличении скорости сдвига увеличивается напряжение сдвига (рис. 1, кривая 2), так как увеличивается действующая сила, приложенная к поверхности материала. Для математического моделирования процесса воспользуемся полученными коэффициентом аномалии n = 0,42892 и консистенции η_0 = 83559 Па·с.

Анализируя полученные кривые (рис. 2), можно отметить, что при малых скоростях сдвига температурное влияние незначительно, но по мере увеличения скорости сдвига оно усиливается. Это явление можно объяснить тем, что с увеличением температуры молекулам сообщается дополнительная тепловая энергия, которая позволяет им совершать перескоки в направлении действующего напряжения. Проведенные эксперименты подтверждают теорию, подробно изложенную в [4-7].

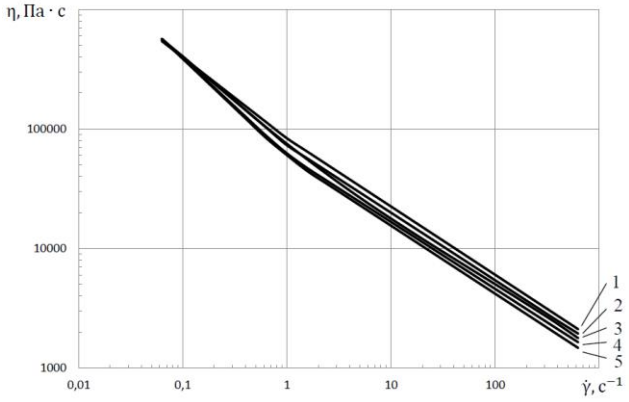


Рис. 2 – Зависимость вязкости от скорости при разных температурах:
1 – 150°C; 2 – 160°C; 3 – 170°C; 4 – 180°C; 5 – 190°C

Уравнения движения получают на основе закона сохранения главного вектора количества движения [8]:

$$\rho\left(\frac{\partial \upsilon_r}{\partial t}+\upsilon_r\frac{\partial \upsilon_r}{\partial r}+\frac{\upsilon_\theta}{r}\cdot\frac{\partial \upsilon_r}{\partial \theta}-\frac{\upsilon_\theta^2}{r}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_r}{\partial z}\right)= \\ =-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial(r\cdot\tau_{rr})}{\partial r}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta}-\frac{\tau_{\theta\theta}}{r}+\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\rho\left(\frac{\partial \upsilon_\theta}{\partial t}+\upsilon_r\frac{\partial \upsilon_\theta}{\partial r}+\frac{\upsilon_\theta}{r}\cdot\frac{\partial \upsilon_\theta}{\partial \theta}-\frac{\upsilon_\theta\cdot\upsilon_r}{r}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_\theta}{\partial z}\right)= \\ =-\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial P}{\partial \theta}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial(r^2\cdot\tau_{r\theta})}{\partial r}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \tau_{\theta\theta}}{\partial \theta}+\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\rho\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial t}+\upsilon_r\frac{\partial \upsilon_z}{\partial r}+\frac{\upsilon_\theta}{r}\cdot\frac{\partial \upsilon_z}{\partial \theta}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\right)= \\ =-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial(r\cdot\tau_{rz})}{\partial r}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta}+\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}, \quad (3)$$

где: ρ – плотность материала, кг/м^3; r – радиус цилиндрической модели, м; υ_z, υ_θ, υ_r – компоненты скорости в цилиндрической системе координат, м/с; τ_{rr}, $\tau_{\theta\theta}$, τ_{zz}, $\tau_{r\theta}$, τ_{rz}, $\tau_{\theta z}$ – компоненты тензора напряжений;

Реологические уравнения состояния:

$$\tau_{rr}=2\eta\frac{\partial \upsilon_r}{\partial r}, \quad (4) \qquad \tau_{r\theta}=\eta\left(r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\upsilon_\theta}{r}\right)+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \upsilon_r}{\partial \theta}\right), \quad (7)$$

$$\tau_{\theta\theta}=2\eta\left(\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \upsilon_\theta}{\partial \theta}+\frac{\upsilon_r}{r}\right), \quad (5) \qquad \tau_{rz}=\eta\left(\frac{\partial \upsilon_z}{\partial r}+\frac{\partial \upsilon_r}{\partial z}\right), \quad (8)$$

$$\tau_{zz}=2\eta\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}, \quad (6) \qquad \tau_{\theta z}=\eta\left(\frac{\partial \upsilon_\theta}{\partial z}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial \upsilon_z}{\partial \theta}\right), \quad (9)$$

Поскольку реальные процессы течения и теплообмена вязкой среды чрезвычайно сложны, для упрощения математической модели, описывающей эти процессы, введем ряд допущений: свойства материала однородны и изотропны; отсутствуют внутренние источники тепла; теплофизические параметры материала постоянны, кроме вязкости; процесс изотермический; течение ламинарное; задача осесимметричная; отсутствует проскальзывание; $\frac{\partial P}{\partial z}=\frac{\partial P}{\partial \theta}=0$.

Скорость является функцией только трех переменных: времени и двух пространственных координат (r и z). Следовательно, все производные скорости по угловой координате равны 0. Кроме того, только υ_θ является не нулевой компонентой скорости. С учетом реологических

уравнений состояния и сделанных допущений в цилиндрической системе координат математическая модель выглядит следующим образом:

$$\rho\frac{\partial\upsilon_\theta}{\partial t}=\eta\left(3\cdot\frac{\partial}{\partial r}\cdot\left(\frac{\upsilon_\theta}{r}\right)+r\cdot\frac{\partial^2}{\partial r^2}\cdot\left(\frac{\upsilon_\theta}{r}\right)+\frac{\partial^2\upsilon_\theta}{\partial z^2}\right), \quad (10)$$

$$\eta=\eta_0\cdot\dot{\gamma}^{n-1}\cdot exp\left(\frac{E}{RT}\right), \quad (11)$$

Уравнение (10) необходимо дополнить условиями однозначности.

Угловая скорость в начальный момент времени $t = 0$ равна:

$$\upsilon_\theta|_{t=0}=0\ \text{м/с}, \quad (12)$$

Угловая скорость в каждый момент времени $t = t_n$ равна:

$$\upsilon_\theta(r,t)|_{z=h}=F_1\ \text{м/с}, \quad (13)$$

где: $F_1 = f(t)$ – функция по времени.

$$f(t)=\upsilon_l\cdot sin(2\pi ft), \quad (14)$$

где: υ_l – линейная скорость, м/с; f – частота колебаний ротора вискозиметра, Гц; t – время, с.

Преобразуем угловую скорость в линейную:

$$\upsilon_l=\omega r, \quad (15)$$

где: r – радиус модели, м; ω – угловая скорость, рад/с.

Таким образом, уравнение (10) замкнутое условиями однозначности (12)–(15) является математической моделью движения полимера между пластинами ротационного реометра.

В результате математического моделирования процесса течения полимера при исследовании вязкости в зависимости от скорости сдвига и температуры было получено следующее распределение вязкости по сечению полимерного слоя (см. рис. 3). Процент отклонения значений вязкости, полученных путём численного исследования, от значений, выявленных в ходе натурного эксперимента, не превышает 5%. Это говорит о достоверности результатов моделирования в пакете *ANSYS*.

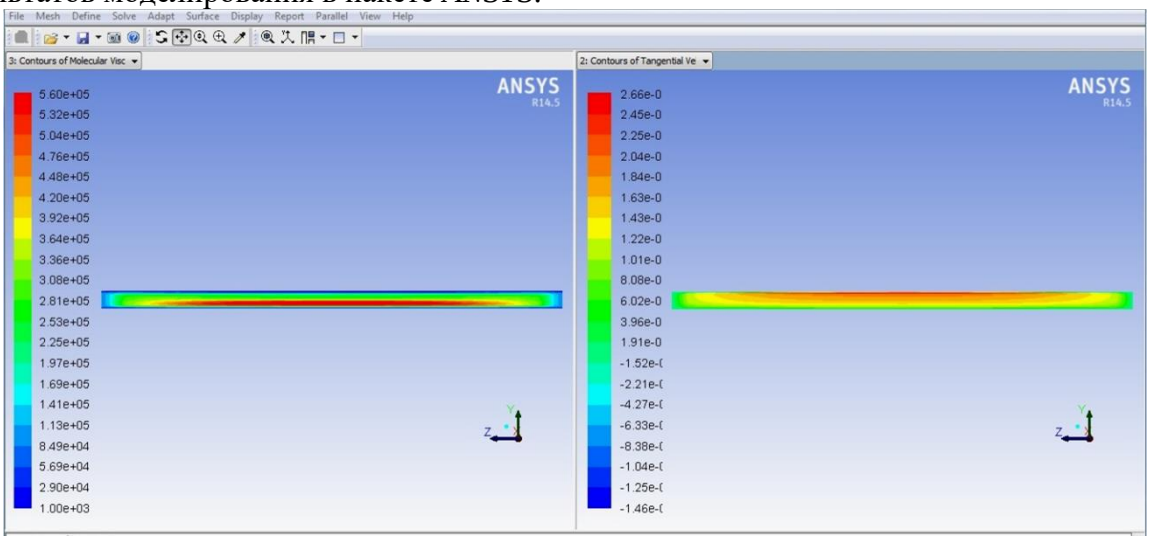


Рис. 3 – Слева: распределение вязкости в сечении *RZ*, справа: распределение скорости в сечении *RZ*

Таким образом, было проведено экспериментальное изучение свойств полимера с использованием ротационного реометра, в ходе которого определены необходимые коэффициенты, позволяющие описать зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига и температуры при математическом моделировании процесса течения полимера в пакете *ANSYS*; проведено численное исследование течение полимера между плоскостями ротационного реометра; проведена проверка адекватности предложенной математической модели путем сравнения расчетных данных с натурным экспериментом.

Предложенные практические рекомендации можно использовать при изучении более сложных технологических процессов.

Список литературы

1. *Устинова А.С.* Вискозиметрические течения эластичных неньютоновских сред // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Владивосток, 2011. – 127с.
2. *Мозгова Г.В.* Разработка стационарного метода и устройства для определения зависимостей теплопроводности и реологических характеристик неньютоновских жидкостей от скорости сдвига // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тамбов, 2007. – 159с.
3. *Сидоренко А.С.* Математическое моделирование начальной стадии формирования пористой структуры полимерных материалов в цилиндрических каналах с учетом диссипации // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 2005. – 308с.
4. *Кулезнев В.Н., Шершнев В.А..* Химия и физика полимеров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:КолосС, 2007. – 367 с.
5. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. Пер. с англ. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
6. *Шрамм Г.* Основы практической реологии и реометрии/Пер. с англ. И.А. Лавыгина; Под ред. В.Г. Куличихина – Москва.: КолосС, 2003. –312 с.
7. *Тагер А.А.* Физико-химия полимеров. Издание 4-е, переработанное и дополненное. – М.: Научный мир. 2007. –576 с.
8. *Труфанова Н.М.* Переработка полимеров: учеб. пособие / Н.М. Труфанова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 159 с.

01.04.14

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru

УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ DEE

На примере описания линии насыщения хладона DEE проведен анализ модели линии насыщения Вегнера. Установлено, что использование уравнения Клапейрона-Клаузиуса для описания паровой ветви линии насыщения в рамках модели Вегнера позволяет с удовлетворительной точностью описать линию фазового равновесия DEE в температурном диапазоне от 257 К до критической температуры. Представленная в работе информация позволяет для указанного диапазона температур рассчитать термодинамические таблицы, включающие плотность на паровой и жидкостной ветвях линии насыщения, давление $p_s(T)$ *на линии упругости, производные* $p_s^{'}(T)$, $p_s^{''}(T)$ *и теплоту парообразования.*

Ключевые слова: *линия насыщения, линия упругости, критические индексы, модель Вегнера, DEE, уравнение Клапейрона-Клаузиуса.*

В данной работе на примере описания линии фазового равновесия диэтилового эфира проведен численный анализ теоретических результатов, согласно которым правило криволинейного диаметра описывается следующей зависимостью:

$$\frac{\rho^- + \rho^+}{2\rho_c} - 1 = A|\tau|^{1-\alpha} + o\left(|\tau|^{1-\alpha}\right), \qquad (1)$$

где ρ_c – критическая плотность; α – критический индекс изохорной теплоемкости; A – постоянный коэффициент; ρ^- и ρ^+ – плотность насыщенного пара и насыщенной жидкости, соответственно; $\tau = 1 - t$; $t = T / T_c$; T_c – критическая температура.

Для того чтобы удовлетворить требованиям масштабной теории критических явлений (МТ), следствием которой и является модель Вегнера (1), составим систему самосогласованных уравнений, описывающую линию упругости, жидкостную и паровую ветви линии насыщения в соответствии с МТ.

Линию упругости зададим уравнением [1]:

$$p_s(T) = p_c \exp\left(-a_0 / t\tau^2\right)\left(1 + a_1\tau + a_2|\tau|^{2-\alpha} + a_3|\tau|^{2-\alpha+\Delta} + \sum_{i=4}^{6} a_i \tau^{n(i)}\right), \qquad (2)$$

которое, во-первых, вблизи критической точки удовлетворяет МТ [2]:

$$p_s(T) = p_c\left(1 + a_1\tau + a_2|\tau|^{2-\alpha} + a_3|\tau|^{2-\alpha+\Delta} + \ldots\right), \qquad (3)$$

и, во-вторых, качественно верно передает поведение линии упругости в области тройной точки:

$$\ln\left(p_s(T)/p_c\right) = -a_0/t. \qquad (4)$$

Здесь p_c – критическое давление; a_i ($i = 0, 1, \ldots, 6$) – постоянные коэффициенты; Δ – неасимптотический критический индекс; $n(i)$ – массив из натуральных чисел.

Паровую ветвь линии насыщения опишем на основе уравнения Клапейрона-Клаузиуса, которое использовалось в [3]:

$$\frac{1}{\rho^-} = \frac{r^*(t)}{T\left(dp_s(t)/dt\right)}, \qquad (5)$$

где $r^*(t)$ – «кажущаяся» теплота парообразования; $dp_s(t)/dt$ – производная функции (2).

Теперь, для того, чтобы уравнение (3) удовлетворяло требованиям МТ достаточно потребовать, чтобы функция $r^*(t)$ описывалась выражением [4]:

$$r^*(t) = \frac{p_c}{\rho_c}\left(a_1 + d_1|\tau|^{\beta} + d_2|\tau|^{\beta+\Delta} + d_3|\tau|^{1-\alpha} + \sum_{i=4}^{9} d_i \tau^{m(i)}\right), \qquad (6)$$

где d_i $(i = 0, 1, ..., 7)$ – постоянные коэффициенты; β – критический индекс кривой сосуществования; $m(i)$ – массив из натуральных чисел.

Уравнение для жидкостной ветви линии насыщения выберем в виде зависимости [5]:

$$\frac{\rho^+}{\rho_c} = 1 + \frac{d_1}{a_1}|\tau|^{\beta} + \frac{d_2}{a_1}|\tau|^{\beta+\Delta} - \left(\frac{d_1}{a_1}\right)^2 |\tau|^{2\beta} + A_3|\tau|^{1-\alpha} + \sum_{i=4}^{9} A_i \tau^{s(i)}, \qquad (7)$$

где A_i – постоянные коэффициенты; $m(i)$ – массив из натуральных чисел.

Зависимости (2), (5)–(7) образуют систему взаимосогласованных уравнений, которая позволяет описать фазового равновесия в диапазоне температур от тройной точки до критической точки, причем в критической области в этом случае выполняется равенство (1) и предельный переход [6]:

$$\frac{\rho^+ - \rho^-}{2\rho_c} = A_1 \tau^{\beta} + ... \qquad (8)$$

Параметрам уравнений (3) – (6), которые определялись на массиве данных [7–11], присвоены следующие значения: α = 0,11; β = 0,325; Δ = 0,5; T_c = 466,836 К; p_c = 3,64 МПа; ρ_c = 264,0 кг/м^3; a_0 = 12,24; a_1 = 7,285533907401; a_2 = 89,29319551241; a_3 = 29,308886701; a_4 = – 98,3423472361; a_5 = 21,27538111038; a_6 = – 16,90502890056; $n(i)$ = 2, 3, 5 (i =4, 5,…, 6); d_1 = 10,89114475250; d_2 = 1463,41350695; d_3 = – 2839,600479216; d_4 = – 1549,721533796; d_5 = 2458,33571136; d_6 = – 19761,41065482; d_7 = 69509,23458298; d_8 = – 83821,292270; d_9 = – 0,105739855758; $m(i)$ = 1, 3, 5, 7, 9, 0 (i = 4, 5,…, 9); A_3 = – 384,5006287493469; A_4 = – 209,8521610133346; A_5 = – 97,71526409191844; A_6 = – 320,065534565; A_7 = – 669,2512250072; A_8 = – 631,0632271987; A_9 = 274,22877974147; $s(i)$ = 1, 2, 3, 4, 5, 7 (i = 4, 5,…, 9).

На рис. 1–3 представлены отклонения расчетных значений давления и плотности от экспериментальных и табличных данных.

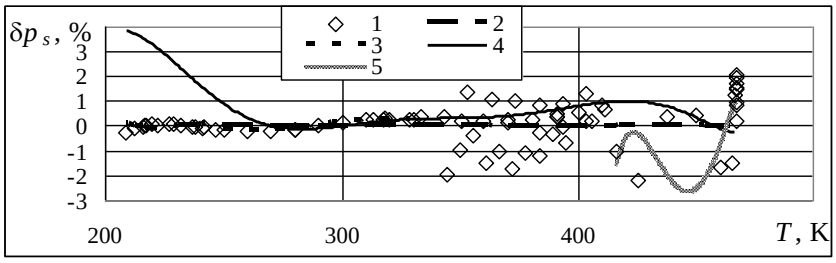


Рис. 1. Относительные отклонения давления насыщения DEE, рассчитанные по уравнению (2), от данных: 1–экспериментальные данные; 2–расчет по уравнению [7]; 3–[10]; 4–[9]; 5–[8]

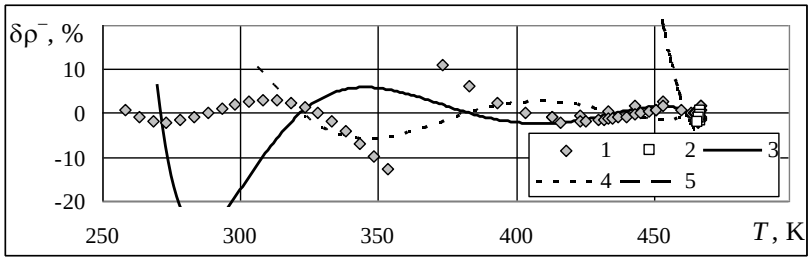


Рис. 2. Отклонения плотности ρ^{-} DEE, рассчитанные по уравнению (5), от данных: 1–экспериментальные данные; 2–экспериментальные данные [8]; 3–модель СМ [7]; 4–логарифмическая модель [7]; 5–[8]

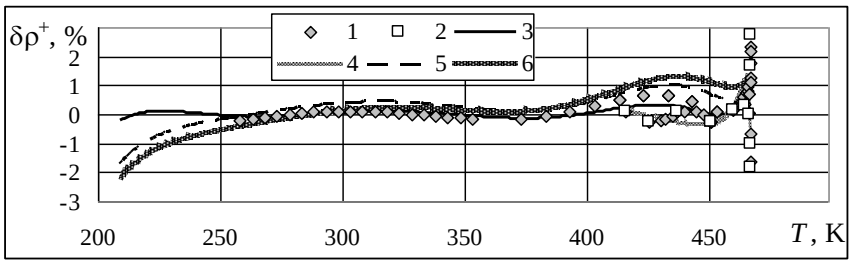


Рис. 3. Относительные отклонения плотности ρ^{+} DEE , рассчитанные по уравнению (7), от данных: 1–экспериментальные данные; 2–экспериментальные данные [8]; 3–[7]; 4–[8]; 5–[9]; 6–[11]

Полученные результаты позволяют, во-первых, уточнить известные термодинамические таблицы DEE как в критической области, так и в окрестности тройной точки и, во-вторых, усовершенствовать методику построения уравнений состояния, учитывающих особенности критической области [12].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-08-08503).

Список литературы

1. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* Уравнения линии насыщения и упругости хладона R218 // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 54–57.

2. *Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В.* Давление насыщения технически важных веществ: модели и расчеты для критической области // Вестник МЭИ. 2012. № 2. С. 34–43.

3. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* Модифицированное уравнение линии насыщения, удовлетворяющее требованиям масштабной теории // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 3.

4. *Рыков С.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А*. Новое уравнение линии фазового равновесия R32 // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 27-29.

5. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В.* Уравнение линии насыщения, удовлетворяющее модифицированному правилу криволинейного диаметра // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 9.

6. *Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Попов П.В., Рыков В.А., Френкель М.Л* Скейлинговые модели для описания термодинамических свойств вещества на линии насыщения: перспективы и ограничения // Вестник МЭИ. 2011. № 6. С. 167-179.

7. *Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L.* Scaling Models of Thermodynamic Properties on the Coexistence Curve: Problems and Some Solutions// Russian Journal of Physical Chemistry B, 2012, Vol. 6, No. 8, P. 912–931.

8. *N.G. Polikhondi, I.M. Abdulagatov, R.G. Batyrova, G.V. Stepanov, E.E. Ustyuzhanin, J.T. Wu.* // Int. J. Thermophys (2011) 32: 559–595.

9. *J.R. Rowley, W.V. Wilding, J.L. Oscarson, R.L. Rowley*, DIADEM, DIPPR Information and Data Evaluation Manager: 4.2.0 (Brigham Young University, Provo, UT, 2010).

10. *D. Ambrose, C.H.S. Sprake, R. Townsend*, J. Chem. Thermodyn. 4, 247 (1972).

11. *C.F. Spencer, S.B. Adler*, J. Chem. Eng. Data 23, 82 (1978).

12. *Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю.* О структуре фундаментального уравнения состояния, учитывающего асимметрию жидкости и пара // Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 1. С. 35-38.

01.04.14

[1]С.В. Рыков, [1]В.А. Рыков, [1]Г.А. Карпов, [2]А.В. Свердлов

[1]Университет ИТМО, Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru
[2]Air Comfort & Fire Safety Europe, Москва

ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРЕМЕННЫХ ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА

Обсуждается задача построения непараметрического уравнения состояния скейлингового вида для асимптотической окрестности критической точки в переменных давление p и температура T. В основу подхода положено представление масштабной гипотезы в виде зависимости, аналогичной рассчитанной на основе феноменологической теории Мигдала А.А., и гипотезы Бенедека. Получены фундаментальное и термическое уравнения состояния в переменных p и T, а также расчетные формулы для энтальпии, изобарной и изохорной теплоемкости, изотермического коэффициента сжимаемости. Установлено, что в рамках данного подхода на термодинамической поверхности отсутствует линия псевдокритических точек, удовлетворяющих равенствам $\left(\partial\rho/\partial p\right)_T = 0$ *и* $\left(\partial T/\partial s\right)_T = 0$*, а роль опорной кривой выполняет термическая спинодаль.*

Ключевые слова: *гипотеза Бенедека, псевдоспинодаль, изобарная теплоемкость, уравнение состояния, критические индексы*.

Общепринято описывать область критических состояний жидкости и газа в переменных плотность-температура независимо от того используется с этой целью параметрическое представление масштабной теории [1, 2] или масштабные уравнения состояния в физических переменных [3, 4]. Исключения из этого правила составляют уравнения состояния, рассмотренные в работах [5–6], в которых в качестве независимых параметров состояния использованы давление p и температура T.

В работе [6] предложено представить масштабную гипотезу в виде выражения, аналогичного представлению Мигдала А.А.:

$$\Delta\mu \cdot C_p^{\frac{2-\alpha}{\gamma}} = \varphi_0 + \varphi_2 m^2, \qquad (1)$$

где $\Delta\mu = \left(\rho_c/p_c\right)\left(\mu\left(p,T\right) - \mu_0\left(T\right)\right)$; μ – химический потенциал; $\mu_0(T)$ – регулярная функция температуры; C_p – изобарная теплоемкость; φ_0 и φ_2 – постоянные коэффициенты; α и γ – критические индексы изохорной теплоемкости C_v и изотермической сжимаемости K_T, соответственно.

Переменная m в [6] задается выражением:

$$m = \tau^{\beta} \cdot C_p^{\frac{\beta}{\gamma}}, \qquad (2)$$

где β – критический индекс кривой сосуществования, $\tau = T/T_c - 1$; T_c – критическая температура.

Поведение в асимптотической окрестности критической точки изобарной теплоемкости в соответствии с гипотезой Бенедека [7] и результатами работы [5] задавалось в работе [6] зависимостью:

$$C_p = A\left|\Delta p - a_0\tau \pm a_1\left|\tau\right|^{\beta\delta}\right|^{-\frac{\gamma}{\beta\delta}}, \qquad (3)$$

где A, a_0, a_1 – постоянные коэффициенты; $\Delta p = p/p_c - 1$; p_c – критическое давление; δ – критический индекс критической изотермы.

Масштабное уравнение [6] имеет ряд недостатков: во-первых, не удовлетворяет в каждой точке на линии упругости требованию равенства химических потенциалов:

$$\mu^{+} = \mu^{-}, \tag{4}$$

где μ^{+} и μ^{-} – значения химического потенциала на жидкостной и паровой ветвях линии насыщения, соответственно. Во-вторых, не доказано, что поведение изохорной теплоемкости на линии насыщения вблизи критической точки в рамках предложенного подхода (1)–(3) удовлетворяет масштабному соотношению:

$$C_v \square |\tau|^{-\alpha}. \tag{5}$$

Удовлетворить равенству (4) в рамках подхода [6] можно, если учесть, что в асимптотической окрестности критической точки линия псевдокритических точек [8] в координатах $p-T$ симметрична относительно линии упругости и критической изохоры [5, 9]. Тогда выражение (3) надо представить в следующем виде:

$$C_p = A\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{-\frac{\gamma}{\beta\delta}}, \tag{6}$$

где $\Delta p_s = \left(p - p_s(\tau)\right)/p_c$.

Функция $p_s(\tau)$ в (6) входит в уравнение линии упругости $p = p_s(\tau)$ и вблизи критической точки имеет вид:

$$p_s(\tau) = p_c\left(1 + a_0\tau + a_2|\tau|^{2-\alpha}\right). \tag{7}$$

Заметим, что в случае (6) на основе анализа уравнения (1), с учетом (2), получим следующее равенство:

$$\Delta\rho^{\pm} = \pm B_s|\tau|^{\beta}, \tag{8}$$

где $\Delta\rho^{\pm} = \rho^{\pm}/\rho_c - 1$; ρ^{+} и ρ^{-} – значения плотности на жидкостной и паровой ветвях линии насыщения, соответственно; B_s – постоянный коэффициент.

Покажем, что в рамках подхода [6] можно удовлетворить и степенному закону (5). С этой целью определим параметр m на основе равенства;

$$m = C_p^{\frac{1-\beta\delta}{\gamma}}. \tag{9}$$

Тогда выражение для химического потенциала, с учетом зависимости (6), примет вид:

$$\Delta\mu = A_1\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{\frac{2-\alpha}{\beta\delta}} + A_2\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{\frac{2\beta\delta-\alpha}{\beta\delta}}, \tag{10}$$

где $A_1 = \varphi_0 A^{\frac{\alpha-2}{\gamma}}$; $A_2 = \varphi_2 A^{\frac{\alpha-2\beta\delta}{\gamma}}$.

Подставим в (10) $p = p_s(\tau)$ и получим:

$$\mu^{+} = \mu^{-} = \frac{p_c}{\rho_c}\left(A_1\left|a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{\frac{2-\alpha}{\beta\delta}} + A_2\left|a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{\frac{2\beta\delta-\alpha}{\beta\delta}}\right) + \mu_0(T). \tag{11}$$

Таким образом, фундаментальное уравнение состояния (10) удовлетворяет равенству химических потенциалов (4).

Термическое уравнение состояния найдем из (10) с помощью известного термодинамического равенства $v = \left(\partial\mu/\partial p\right)_T$:

$$\Delta v = \frac{sign(\Delta p_s)}{\rho_c v}\left[A_1^{*}\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{\frac{1}{\delta}} + A_2^{*}\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{\frac{\beta\delta-\alpha}{\beta\delta}}\right], \tag{12}$$

где $A_1^* = A_1 \cdot (2-\alpha)/(\beta\delta)$; $A_2^* = A_2 \cdot (2\beta\delta-\alpha)/(\beta\delta)$; $\Delta v = v / v_c - 1$; v – удельный объем; v_c – критический объем.

Изохорная теплоемкость в переменных $p-T$ определяется термодинамическим равенством:

$$C_v = C_p + \frac{T(\partial v/\partial T)_p^2}{v \cdot K_t}. \qquad (13)$$

Выражения для изотермической сжимаемости получим на основе (12) и известного термодинамического равенства $K_T = v^{-1}(\partial v/\partial p)_T$:

$$K_T = \frac{1}{\rho_c p_c v}\left[\frac{A_1^*}{\delta}\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{-\frac{\gamma}{\beta\delta}} + A_2^*\frac{\beta\delta-\alpha}{\beta\delta}\left|\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta}\right|^{-\frac{\alpha}{\beta\delta}}\right]. \qquad (14)$$

Из выражений (14) непосредственно следует, что на геометрическом месте точек, положение которых на термодинамической поверхности определяется равенством $\Delta p_s \pm a_1|\tau|^{\beta\delta} = 0$, изотермическая сжимаемость равна бесконечности.

Таким образом, УС (12), передает спинодаль, и, следовательно, область метастабильных состояний. При этом УС (12) не приводит к возникновению, в отличие от УС, рассмотренных в работах [4, 10], линии псевдокритических точек [11].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 15-08-08503.

Список литературы

1. *Лысенков В.Ф., Попов П.В., Рыков В.А.* Параметрические масштабные уравнения состояния для асимптотической окрестности критической точки // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. 1992. № 1. С. 78.
2. *Кудрявцева И.В., Рыков С.В., Рыков В.А.* Описание метастабильной области в рамках параметрического представления масштабной теории // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 5.
3. *Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А.* Асимметричное масштабное уравнение состояния хладона R23 // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С. 26–28.
4. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А.* Асимметричное масштабное уравнение состояния аргона в переменных плотность-температура // Холодильная техника и кондиционирование. 2008. № 2. С. 6–11.
5. *Лысенков В.Ф., Шустров А.В.* О возможности построения масштабного уравнения состояния газа и жидкости в физических переменных // ИФЖ. 1984. Т. 47, № 4. С. 602–608.
6. *Рыков С.В.* Правило криволинейного диаметра и масштабное уравнение в переменных давление-температура // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 65–68.
7. *Benedek G.B.* Optical mixing spectroscopy, with applications to problem in physics, chemistry, biology and engineering // Polarisation, matiere et rayonnement. Presses Universitaires de France, Paris. 1969, p. 49.
8. *Рыков В.А.* Определение «псевдоспинодальной» кривой на основе термодинамических равенств $(\partial T/\partial s)_v = 0$ и $(\partial v/\partial p)_T = 0$ // Журнал физической химии. 1985. Т. 59. № 11. С. 2905.
9. *Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L.* // Russian Journal of Physical Chemistry B, 2012, Vol. 6, No. 8, P. 912–931.
10. *Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А.* Непараметрическое уравнение состояния скейлингового вида и метод псевдокритических точек // Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 2. С. 4.
11. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А.* Физическое обоснование метода псевдокритических точек // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 2. С. 44–47.

01.02.05

Е.В. Субботин к.т.н., Р.Р. Зиннатуллин к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ

В работе экспериментально определены значения коэффициентов для степенного закона, модели Керри и уравнения Рейнольдса, описывающих зависимость вязкости расплава полимера от скорости сдвига и температуры. Проведен сравнительный анализ результатов численного моделирования процесса экструзии полиэтилена, полученных при использовании в расчетах разных реологических уравнений.

Ключевые слова: *расплав полимера, реологические уравнения, экструзия, численное моделирование.*

На сегодняшний день основным способом механической переработки полимеров, широко применяющихся во многих отраслях современной промышленности, остается экструзия. Подобные нелинейновязкие материалы обладают большим разнообразием реологических свойств, без знания которых невозможно было бы использовать математическое моделирование как средство анализа и совершенствования экструзионных процессов [1].

Известно, что при численных исследованиях особенностей течения расплавов полимеров в каналах экструдеров, с точки зрения реологии, можно ограничиться рассмотрением только вязких свойств материалов [2]. В данной работе проведено сравнение результатов численного моделирования процесса экструзии полиэтилена, при этом для математического описания зависимости эффективной вязкости расплава полимера от скорости сдвига использовались разные эмпирические уравнения: степенной закон [2, 3] и модель Керри [2, 3], значения коэффициентов для которых были определены экспериментально с помощью ротационного реометра Discovery HR-2.

Измерения проводились для полиэтилена низкой плотности марки PE153-02K в температурном диапазоне (160–200) °C с шагом 10 °C в режиме осциллирующих деформаций не выше 1.25 %. В эксперименте применялась измерительная система «плоскость-плоскость» [4] с радиусом окружности 12.5 мм и зазором между пластинами 1 мм. Результирующие зависимости эффективной вязкости $\mu_Э$ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$, полученные для различных значений температуры, представлены на рисунке 1.

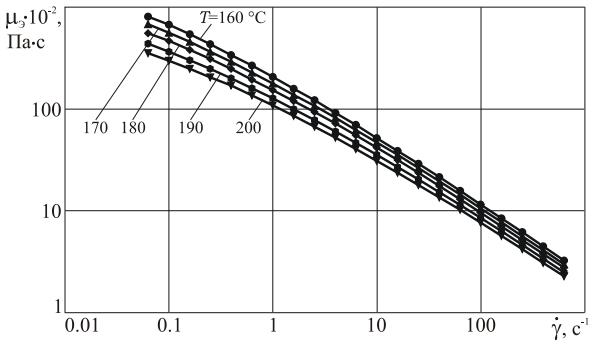


Рис. 1 – Зависимости вязкости расплава полимера от скорости сдвига

Из графиков (см. рис. 1) видно, что при любом значении температуры из заданного диапазона эффективная вязкость исследуемого полимера уменьшается с увеличением скорости сдвига. Использующиеся для теоретического описания данной зависимости степенной закон и модель Керри записываются следующим образом:

$$\mu_{ЭС} = \mu_1 \dot{\gamma}^{n-1}, \quad (1)$$

$$\mu_{ЭК} = \left[1 + \left(\lambda_k \dot{\gamma}\right)^2\right]^{\frac{m-1}{2}} \left(\mu_0 - \mu_\infty\right) + \mu_\infty, \quad (2)$$

где $\mu_{ЭС}$, $\mu_{ЭК}$ – эффективная вязкость в степенном законе и модели Керри соответственно; μ_1 – коэффициент консистенции; μ_0 – вязкость при нулевой скорости сдвига; μ_∞ – вязкость при бесконечной скорости сдвига; λ_k – константа; n, m – коэффициенты аномалии вязкости.

Необходимые значения коэффициентов для уравнений (1) и (2), полученные после обработки экспериментальных данных (см. рис. 1), представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты для степенного закона и модели Керри

T, °C	Степенной закон		Модель Керри			
	μ_1, Па·с^n	n	μ_0, Па·с	μ_∞, Па·с	λ_k, с	m
160	23402	0.3402	88559	-130	11.82	0.4055
170	20893	0.3448	73797	-143	11.78	0.4217
180	18216	0.3533	58974	-136	10.77	0.4332
190	15187	0.3661	46275	-130	10.70	0.4511
200	13064	0.3753	36235	-121	9.58	0.4627

Следует отметить, что уравнение степенной жидкости (1) достаточно точно описывает реологическое поведение расплавов полимеров только в ограниченной области скоростей сдвига, а именно при $\dot{\gamma}$>1 с$^{-1}$. Модель Керри (2), в отличие от степенного закона, позволяет достаточно хорошо прогнозировать изменение эффективной вязкости на всем заданном диапазоне скоростей сдвига, в том числе и при низких значениях, когда $\dot{\gamma}$<1 с$^{-1}$. Однако считается, что при переработке полимеров методом экструзии в рабочих каналах оборудования реализуются в основном высокие значения скоростей сдвига. Это делает модель степенной жидкости одним из наиболее широко применяемых эмпирических соотношений динамики полимерных сред [2].

Для описания зависимости вязкости исследуемого материала от температуры в работе применялось уравнение Рейнольдса [5], которое, относительно коэффициентов μ_1, μ_0, используемых в выражениях степенной жидкости (1) и модели Керри (2), может быть записано как:

$$\mu_1 = \mu_{1|_{T_0}} \exp\left(-\beta_1 \left(T - T_0\right)\right), \quad (3)$$

$$\mu_0 = \mu_{0|_{T_0}} \exp\left(-\beta_0 \left(T - T_0\right)\right), \quad (4)$$

где $\mu_{1|_{T_0}}$, $\mu_{0|_{T_0}}$ – значения коэффициентов μ_1, μ_0 при температуре T_0; β_1, β_0 – температурные коэффициенты вязкости.

Необходимые значения коэффициентов для уравнения Рейнольдса, полученные после обработки данных, представленных в таблице 1, приведены ниже в таблице 2.

Используя свойство логарифмической аддитивности [6], определяющие реологические уравнения состояния, в которых функциональная зависимость эффективной вязкости расплава полимера от скорости сдвига описывается степенным законом или моделью Керри, а от температуры уравнением Рейнольдса, можно представить в следующем виде:

$$\mu_{ЭС} = \mu_{1|_{T_0}} \dot{\gamma}^{\bar{n}-1} \exp\left(-\beta_1 \left(T - T_0\right)\right), \quad (5)$$

$$\mu_{ЭК} = \left\{\left[1 + \left(\bar{\lambda}_k \dot{\gamma}\right)^2\right]^{\frac{\bar{m}-1}{2}} \left(\mu_{0|_{T_0}} - \bar{\mu}_\infty\right) + \bar{\mu}_\infty\right\} \exp\left(-\beta_0 \left(T - T_0\right)\right), \quad (6)$$

где $\bar{\lambda}_k$, $\bar{\mu}_\infty$, $\bar{n}$, $\bar{m}$ – среднее арифметическое значение соответствующих коэффициентов из таблицы 1.

Результирующие значения реологических и температурных коэффициентов для выражений (5), (6), приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты для определяющих реологических уравнений

T_0, °C	Уравнение (5)			Уравнение (6)				
	$\mu_{1\|_{T_0}}$, Па·с^n	β_1, 1/°C	$\bar{n}$	$\mu_{0\|_{T_0}}$, Па·с	$\bar{\mu}_\infty$, Па·с	$\bar{\lambda}_k$, с	β_0, 1/°C	$\bar{m}$
160	23901	0.01485	0.3559	90753	-132	10.93	0.02254	0.4348

Для сравнения теоретических результатов, полученных при использовании в расчетах двух различных реологических уравнений состояния, представленных выше, с помощью программного комплекса «Universal Screw 12» [7] было проведено численное моделирование процесса переработки исследуемого полимера на промышленном пластицирующем экструдере с диаметром шнека 160 мм.

На рисунке 2 приведено рассчитанное изменение средней и максимальной температуры полимера по длине рабочего канала экструдера.

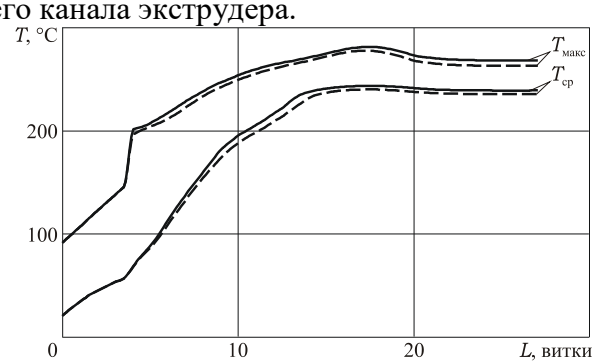


Рис. 2 – Распределение температур по длине канала экструдера
– – – вязкость расплава полимера описывается уравнением (5);
——— – вязкость расплава полимера описывается уравнением (6).

Незначительное расхождение (менее 2 %) полученных результатов (см. рис. 2) подтверждает возможность использования степенного закона для описания аномалии вязкости расплавов при численном исследовании процессов экструзии. С другой стороны, современное экспериментальное оборудование позволяет достаточно просто определять необходимые характеристики в более универсальной модели Керри, описывающей реологические свойства полимеров в широком диапазоне скоростей сдвига, что может иметь большое значение при попытках дальнейшего совершенствования процессов экструзии.

Список литературы

1. *Раувендаль К.* Экструзия полимеров. СПб.: Профессия, 2008. 786 с.
2. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 632 с.
3. *Малкин А.Я., Исаев А.И.* Реология: концепции, методы, приложения. СПб.: Профессия, 2007. 560 с.
4. *Шрамм Г.* Основы практической реологии и реометрии. М.: КолосС, 2003. 312 с.
5. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1977. 460 с.
6. *Янков В.И., Первадчук В.П., Боярченко В.И.* Процессы переработки волокнообразующих полимеров (методы расчета). М.: Химия, 1989. 320 с.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – 2012660591 РФ. Программный комплекс по расчету процессов тепломассопереноса полимерных материалов в каналах одношнековых экструдеров («Universal Screw 12») / Субботин Е.В., Щербинин А.Г. – № 2012618748; Заяв. 16.10.2012; Опубл. 23.11.2012.

01.04.14

А.И. Филиппов д.т.н., М.А. Зеленова к.ф.-м.н.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
кафедра общей и теоретической физики, физико-математический факультет,
alex@filippov.us, marina_ag@inbox.ru

СПОСОБ ОТЫСКАНИЯ ПЕРВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЗАДАЧИ О ПРОГРЕВЕ ПЛАСТА

На примере квазистационарной задачи о тепловом прогреве нефтегазового пласта описана процедура нахождения первого асимптотического коэффициента разложения, применимая для широкого класса задач сопряжения теории теплопроводности. Найдено среднеинтегральное граничное условие, обеспечивающее обращение в ноль асимптотически осредненного по толщине центрального слоя решения задачи для остаточного члена первого коэффициента асимптотического разложения. Это обстоятельство свидетельствует о том, что первое приближение также является «асимптотически в среднем точным» решением исходной задачи.

Ключевые слова: *температурное поле, нефтеносный пласт, асимптотический метод.*

В настоящее время для увеличения нефтеотдачи пласта применяется тепловое воздействие на нефтесодержащий слой [1]. Для определения оптимальных параметров нагревателя важно установить аналитические выражения распространения температурного поля в нефтегазовом пласте. Наиболее простые из них получены на основе квазистационарного приближения задачи о распределении температурного поля в анизотропном пласте, состоящего из трех областей с плоскими границами раздела $z=\pm 1$, с применением «в среднем точного» асимптотического метода [2].

Геометрия задачи в прямоугольной системе координат представлена на рис. 1. Центральный слой толщиной 2 является тонким (λ_x, λ_z – компоненты тензора коэффициента теплопроводности). Принято, что в окружающих породах преобладает вертикальная теплопроводность (λ_{z1}) в сравнении с горизонтальной (λ_{x1}) [3]. Также принято, что свойства окружающих пород идентичны.

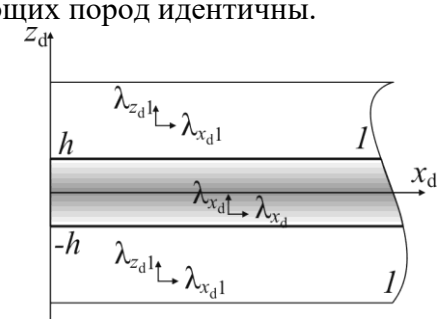


Рис. 1- Геометрия задачи

В задаче добавлен параметр асимптотического разложения путем умножения на $1/\varepsilon$ первой и второй производных по z. Математическая постановка параметризованной температурной задачи в безразмерном виде представляется как [3]

$$\frac{\partial T_1}{\partial \mathrm{Fo}} - \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} = 0\,, \quad \mathrm{Fo} > 0\,, \quad |z| > 1\,, \tag{1}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{\varepsilon}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0\,, \quad |z| < 1\,, \; |x| > 0\,, \tag{2}$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0}=0,\quad T_1\big|_{\mathrm{Fo}=0}=0,\quad T\big|_{x=0}=T_0, \tag{3}$$

$$T_1\big|_{z=1}=T\big|_{z=1},\quad \left.\frac{\partial T_1}{\partial z}\right|_{z=1}=\frac{1}{\varepsilon}\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=1}. \tag{4}$$

При обезразмеривании использованы следующие соотношения

$$\begin{gathered}\mathrm{Fo}=ta_{z1}/h^2,\ z=z_{\mathrm{d}}/h,\ x=x_{\mathrm{d}}/h,\ \gamma=\lambda_z/\lambda_x,\ \Lambda=\lambda_{z1}/\lambda_z,\\ T_0=\left[\theta_{01}-\theta_0\right]/\theta_{11},\ T_1=\left[\theta_1-\theta_0+\Gamma h+\Gamma_1\left(z_{\mathrm{d}}-h\right)\right]/\theta_{11},\ T=\left[\theta-\theta_0+\Gamma z_{\mathrm{d}}\right]/\theta_{11}.\end{gathered} \tag{5}$$

Предполагается, что решение является регулярным на бесконечности, т.е. при устремлении пространственных координат в бесконечность искомое решение, а при необходимости и его производная, обращаются в нуль. Для простоты все коэффициенты в уравнениях приняты равными единице ($\gamma=1$, $\Lambda=1$). Решение представляется в виде асимптотической формулы для каждой из областей [2, 4]

$$T=T^{(0)}+\varepsilon T^{(1)}+\ldots+\varepsilon^n T^{(n)}+\Theta^{(n)},\quad T_1=T_1^{(0)}+\varepsilon T_1^{(1)}+\ldots+\varepsilon^n T_1^{(n)}+\Theta_1^{(n)}. \tag{6}$$

После подстановки выражения (6) в (1) – (4) при разных степенях параметра разложения ε, осуществлены постановки краевых задач для коэффициентов асимптотического разложения. Ранее с использованием развитого метода найдены аналитические решения задачи в нулевом приближении и получен вид функции для первого коэффициента [3]

$$\begin{gathered}T^{(0)}=\frac{T_0}{\sqrt{\pi\mathrm{Fo}}}\int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4\mathrm{Fo}}\right)\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\tau}}\right)d\tau,\quad \mathrm{Fo}>0,\quad |z|>1,\\ T_1^{(0)}=\frac{T_0}{\sqrt{\pi\mathrm{Fo}}}\int_{z-1}^\infty \exp\left(-\frac{\tau^2}{4\mathrm{Fo}}\right)\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\tau-z+1}}\right)d\tau,\quad |z|<1,\quad |x|>0,\end{gathered} \tag{7}$$

$$T^{(1)}=-\frac{\partial^2 T^{(0)}}{\partial x^2}\frac{z^2}{2}+Q(x,\mathrm{Fo}), \tag{8}$$

где функция $Q(x,\mathrm{Fo})$ подлежит определению.

Показано, что нулевой коэффициент асимптотического разложения температуры не зависит от вертикальной координаты, а описывает асимптотически осредненные по толщине пласта значения $T^{(0)}=T^{(0)}(x,\mathrm{Fo})$ [3]. Для детального изучения изменения температуры с вертикальной координатой возникает необходимость построения первого коэффициента разложения, который определяется выражением (8).

Уравнение для определения первого коэффициента в слое следует из (2) и имеет вид

$$\frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T^{(2)}}{\partial z^2}=0. \tag{9}$$

Для определения функции $Q(x,\mathrm{Fo})$ подставим выражение (8) в (9). С учетом ограниченности на бесконечности имеем

$$\frac{\partial^2 T^{(2)}}{\partial z^2}=\frac{\partial^4 T^{(0)}}{\partial x^4}\frac{z^2}{2}-\frac{\partial^2 Q(x,\mathrm{Fo})}{\partial x^2}. \tag{10}$$

Проинтегрировав по z выражение (10) и приняв во внимание граничное условие для потоков, следующее из (4), получим

$$\left.\frac{\partial T^{(2)}}{\partial z}\right|_{z=1}=\frac{1}{6}\frac{\partial^4 T^{(0)}}{\partial x^4}-\frac{\partial^2 Q(x,\mathrm{Fo})}{\partial x^2}=\left.\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z}\right|_{z=1}. \tag{11}$$

Выразив $Q(x,\mathrm{Fo})$ из (8) и подставив его в (11), получим уравнение для первого коэффициента разложения $T^{(1)}$

$$\left.\frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial x^2}+\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z}\right|_{z=1}=-\frac{1}{2}\left(z^2-\frac{1}{3}\right)\frac{\partial^4 T^{(0)}}{\partial x^4},\quad |z|<1,\quad |x|>0. \tag{12}$$

Задача для $T^{(1)}$ включает также уравнение для окружающей среды, а также начальное и граничное условия

$$\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial \mathrm{Fo}}-\frac{\partial^2 T_1^{(1)}}{\partial z^2}=0,\quad \mathrm{Fo}>0,\quad |z|>1, \tag{13}$$

$$T_1^{(1)}\Big|_{\mathrm{Fo}=0}=0,\quad T^{(1)}\Big|_{z=1}=T_1^{(1)}\Big|_{z=1}. \tag{14}$$

Задача (12) – (14) с учетом (8) имеет множество решений. Однако если к ней добавить второе условие из (3), то задача имеет только единственное решение. Ниже показано, что для получения единственного решения задачи для первого коэффициента разложения условие (3) следует ослабить и заменить нелокальным средне интегральным. Это обосновывается наличием погранслоя на линии $x=0$, $0<z<1$. Выполнение же граничного условия (3) может быть достигнуто построением погранслойных функций.

Для отыскания модифицированного условия подставив асимптотические формулы, следующие из (6),

$$T=T^{(0)}+\varepsilon T^{(1)}+\Theta,\ T_1=T_1^{(0)}+\varepsilon T_1^{(1)}+\Theta_1, \tag{15}$$

в (1) – (4) и, воспользовавшись соотношениями для нулевого и первого коэффициентов, получим

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial \mathrm{Fo}}-\frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial z^2}=0,\quad \mathrm{Fo}>0,\quad |z|>1, \tag{16}$$

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}+\frac{1}{\varepsilon}\frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2}=-\varepsilon\frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial x^2},\quad |z|<1,\quad |x|>0, \tag{17}$$

$$\left.\frac{\partial \Theta}{\partial z}\right|_{z=0}=0,\quad \Theta_{\mathrm{Fo}=0}=0,\quad \Theta\big|_{x=0}=-\varepsilon T^{(1)}\big|_{x=0}, \tag{18}$$

$$\Theta_1\big|_{z=1}=\Theta\big|_{z=1},\quad \left.\frac{\partial \Theta_1}{\partial z}\right|_{z=1}+\varepsilon\left.\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z}\right|_{z=1}=\frac{1}{\varepsilon}\left.\frac{\partial \Theta}{\partial z}\right|_{z=1} \tag{19}$$

Задача (16) – (19) по сложности сопоставима с исходной. Однако она позволяет определить условия, при выполнении которых осредненная задача для остаточного члена имеет тривиальное решение. Для их нахождения усредним исходную задачу в интервале центрального пласта, применив интегральную процедуру $\langle\Theta\rangle=\int_0^1\Theta dz$.

С учетом результатов интегрирования

$$\frac{1}{\varepsilon}\int_0^1\frac{\partial^2\Theta}{\partial z^2}dz=\frac{1}{\varepsilon}\left.\frac{\partial\Theta}{\partial z}\right|_0^1=\left.\frac{\partial\Theta_1}{\partial z}\right|_{z=1}+\varepsilon\left.\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z}\right|_{z=1}, \tag{20}$$

которое осуществлено с использованием (18) и (19), получим следующую осредненную по толщине центрального пласта задачу для остаточного члена:

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial \mathrm{Fo}}-\frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial z^2}=0,\quad \mathrm{Fo}>0,\quad |z|>1, \tag{21}$$

$$\frac{\partial^2 \langle \Theta \rangle}{\partial x^2} + \left.\frac{\partial \Theta_1}{\partial z}\right|_{z=1} = -\varepsilon \left(\frac{\partial^2 \left\langle T^{(1)} \right\rangle}{\partial x^2} + \left.\frac{\partial T_1^{(1)}}{\partial z}\right|_{z=1} \right), \quad |z| < 1, \quad |x| > 0, \tag{22}$$

$$\Theta\big|_{\mathrm{Fo}=0} = 0, \quad \Theta_1\big|_{z=1} = \Theta\big|_{z=1}, \quad \langle \Theta \rangle\big|_{x=0} = -\varepsilon \left\langle T^{(1)} \right\rangle\Big|_{x=0}. \tag{23}$$

Необходимым условием тривиального решения задачи (21) – (23) является обращение в нуль правых частей уравнения (22) и условия (23)

Равенство нулю правой части (22) обусловлено соотношением (12). Усреднив его, можно убедиться, что правая часть (22) действительно равна нулю. Условие

$$\left\langle T^{(1)} \right\rangle\Big|_{x=0} = 0 \cdot \tag{24}$$

может быть использовано в качестве граничного в задаче для первого коэффициента разложения. При добавлении этого условия задача для первого коэффициента разложения имеет единственное решение. При этом асимптотически осредненная задача для остаточного члена имеет только нулевое решение. Поскольку асимптотически осредненное значение остаточного члена при этом равно нулю $\langle \Theta \rangle_a = 0$, то построенное решение является в некотором смысле «в среднем точным» асимптотическим решением.

Точное аналитическое решение задачи (12) – (14) в виде выражения (8) с ослабленным граничным условием (24) найдено методом, описанным в статье [4].

Список литературы

1. *Клемин Д.В., Попов Ю.А., Пименов В.П.* Оценка влияния тепловых свойств коллектора на эффективность предварительного прогрева пласта при нефтедобыче тепловыми методами // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. – № 3. С. 47-51.

2. *Ахметова О.В., Кабиров И.Ф., Филиппов А.И.* Задача о квазистационарном температурном поле в анизотропном слое с источниками при наличии конвекции // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. – № 5. С. 9 – 21.

3. *Филиппов А.И., Зеленова М.А.* Квазистационарное температурное поле в тонком проницаемом анизотропном слое в нулевом асимптотическом приближении // Фундаментальные исследования. 2015. – № 5. С. 181 – 187.

4. *Filippov A.I., Akhmetova O.V., Zelenova M.A., Asylbaev M.A.* Temperature field in inhomogeneous strongly anisotropic medium with sources // Journal of engineering thermophysics, 2014. Volume 23, Number 2, pp 158 – 170.

01.04.07

[1]С.Д. Ханин д.ф.-м.н., [2]Д.В. Рябоконь

[1]Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, кафедра физической электроники, Санкт-Петербург, sinklit@mail.ru
[2]Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, кафедра физики, Санкт-Петербург, ryabokon90@gmail.com

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛООКСИДНЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТЯХ МИКРО- И НАНОМЕТРОВЫХ РАЗМЕРОВ

Экспериментально показаны возможности электрических и оптических методов в установлении фазовых изменений в металлооксидных тонких пленках и малых частицах, происходящих в областях микро- и нанометровых размеров. Представлены результаты использования электрических методов применительно к обнаружению кристаллов в аморфных диэлектрических пленках и бистабильных оксидов, образующихся в каналах пленочных переключательных устройств. Оптическим методом выявлен переход «полупроводник – металл» в наноразмерных частицах оптических нанокомпозитов.

Ключевые слова. *Металлооксидные пленки и наночастицы, кристаллы в аморфных пленках, бистабильные металлооксиды, фазовый переход «полупроводник – металл».*

Металлооксидные вещества в форме тонких пленок и наноразмерных частиц нашли широкое применение в разнообразных компонентах электроники и оптроники. Высокоомные пленки высших оксидов металлов используются в качестве рабочего диэлектрика конденсаторов и в последнее время МДП-структур [1,2]. Бистабильные металлооксидные вещества, обладающие фазовым переходом «полупроводник – металл», рассматриваются в настоящее время как перспективные материалы для создания энергонезависимых элементов памяти [3] и нелинейно-оптических устройств [4]. Функциональные электронные свойства металлооксидных систем в значительной степени определяются их фазовым составом. Последний может претерпевать изменения в столь малых по размерам областях, что часто не может быть обнаружен прямыми методами структурных исследований.

В настоящей работе показывается, что существенная информация о фазовых изменениях, происходящих в областях микро- и нанометровых размеров, может быть получена с использованием электрических и оптических методов. Учитывая, что представляющие интерес металлооксидные вещества часто являются некристаллическими и им генетически присуща фазовая неоднородность [5,6], изучаемый вопрос представляет значительный научный интерес.

Возможности, открываемые использованием электрических и оптических методов решения рассматриваемой задачи, рассмотрим на примерах решения следующих задач. Первая задача состоит в обнаружении кристаллов оксидов тантала и ниобия в получаемых методом электрохимического оксидирования аморфных диэлектрических пленках высших оксидов, где они образуются при электротепловом нагружении конденсаторных структур и приводят к существенному ухудшению электроизоляционных свойств диэлектрика [1,7].

Информативной для обнаружения таких кристаллов является зависимость проводимости диэлектрика от приложенного к конденсаторной структуре постоянного напряжения (рис. 1). Как видно из рисунка, изучаемая зависимость качественно различна у аморфного и кристаллического оксидов. Если у первого она немонотонна и обладает минимумом, то у второго наблюдается непрерывный экспоненциальный рост проводимости с увеличением приложенного напряжения, что объясняется различием в топологии путей протекания тока [8].

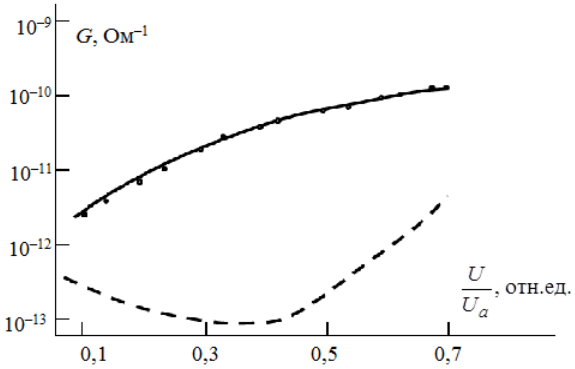


Рис. 1 - Зависимость проводимости кристаллического оксида тантала от напряжения, приведенного к напряжению анодирования металла U_a. Пунктиром обозначена та же зависимость для аморфного оксида тантала

Полученный результат указывает на возможность обнаружения кристаллов в аморфных металлооксидных пленках на основе результатов электрических измерений вольт-амперной характеристики или значения проводимости при напряжении, отвечающем минимуму проводимости аморфного диэлектрика.

Вторая задача состоит в обнаружении фазового состава в наноразмерных каналах электрического переключения, формируемых в металлооксидных пленках посредством электроформовки. Как следует из полученных результатов (рис. 2), напряжение переключения из высокоомного в низкоомное состояние падает с возрастанием температуры. Особый интерес представляет тот факт, что значение температуры, отвечающее экстраполяции зависимости к нулевому напряжению переключения соответствует температуре фазового перехода «полупроводник – металл» оксидов, обладающих бистабильностью.

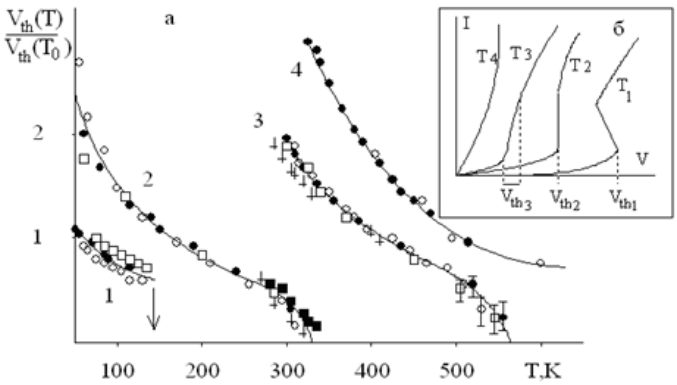


Рис. 2 - а) Температурные зависимости порогового напряжения структур металл-оксид-металл на основе Fe (1), V (2), Ti (3) и Nb (4). За единичное значение принято V_{th} при определённых температурах T_o (1 - T_o=77 K; 2 - T_o=150 K; 3 - T_o=350 K; 4 - T_o=450 K).

б) Схематическое изображение вольт-амперной характеристики при различных температурах: $T_4>T_3>T_2>T_1$

Представленные результаты свидетельствуют об открываемых электрическим методом возможностях обнаружения в наноразмерном канале переключения фазовых изменений, состоящих в образовании бистабильных оксидов, и о связи эффекта переключения с переходом «полупроводник – металл» в них.

Перейдем к третьей задаче – установлению фазового состава наноразмерных металлооксидных частиц, диспергированных в порах диэлектрической матрицы оптических нанокомпозитов на основе нанопористых стекол с диспергированными в них частицами оксида ванадия. Принцип ограничения интенсивности лазерного излучения, для которого предназначены рассматриваемые нанокомпозиты, основывается на использовании фазового

перехода «полупроводник – металл» в диоксиде ванадия. Последний получается посредством восстановления пентаоксида ванадия, первоначально вводимого в поры стекла, что требует диагностики фазового состава наноразмерных металлооксидных частиц, для которой может быть использован оптический метод.

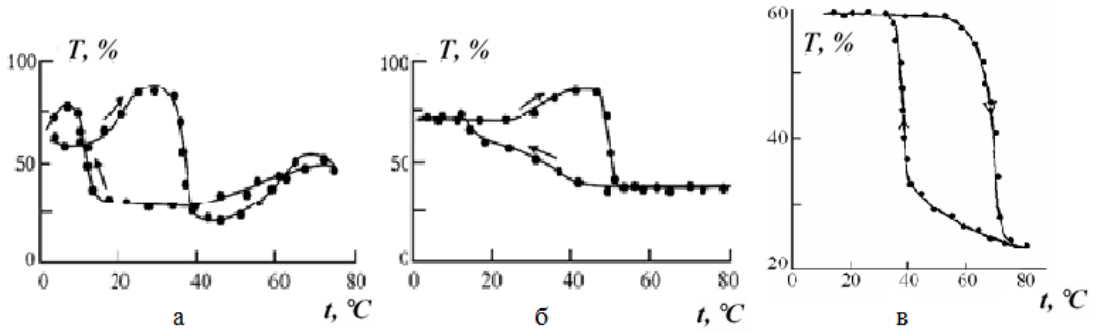


Рис. 3 – Температурные зависимости коэффициента пропускания оптических композитов на основе нанопористых стекол со средним размером пор 17 нм, содержащих окиснованадиевые наночастицы после восстановления в атмосфере водорода при температуре 500 К и давлении 10^5 Па в течение 3 ч (а), 6 ч (б) и 9 ч (в). Длина волны лазерного излучения λ = 1.15 мкм

На рисунке 3 представлены температурные зависимости коэффициента пропускания оптических нанокомпозитов, получаемых с использованием газофазного восстановления пентаоксида ванадия в наноразмерных порах прозрачного стекла. Как видно, при длительности процесса восстановления 9 часов в температурной зависимости коэффициента пропускания наблюдается характерная для перехода «полупроводник – металл» петля гистерезиса, что сигнализирует об образовании в наноразмерных порах стекла диоксида ванадия. С использованием предлагаемого оптического метода диагностики были показаны возможности существенного ускорения процесса получения бистабильных наноразмерных частиц при лазерной и электронно-лучевой модификации первоначального состава металлооксидного вещества.

Список литературы

1. *Ханин С.Д.* Проблемы электрофизики металлооксидных конденсаторных диэлектриков / С.Д.Ханин – Обзоры по электронной технике. Сер.5. Радиодетали и радиокомпоненты. – М., 1990, Вып.1(1524). – 80 с.
2. *Robertson J.* High-K materials and metal gates for CMOS applications / J. Robertson, R. M. Wallace // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2015. – V. 88. – P. 1-42.
3. *Pergament A.* Novel hypostasis of “old” materials in oxide electronics: Metal oxides for ReRAM applications / A. Pergament, G. Stefanovich, A. Velichko, V. Putrolainen, T. Kundozerova, T. Stefanovich // Journal of Characterization and Development of Novel Materials. – 2011. – V.4. – 1.2. – P.83-110.
4. *Ильинский А.В.* Физические процессы в регистрирующих и управляющих нелинейно-оптических средах на основе нанокомпозитов / А.В. Ильинский, А.И. Сидоров, С.Д. Ханин, Е.Б. Шадрин. – В кн. «Физика неупорядоченных и наноструктурированных оксидов и халькогенидов маталлов»: Монография / Под ред. Г.А. Бордовского. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена. – 2011. – с 326 – 382.
5. *Бочарова Т.В.* Физика наноразмерных структур. Формирование наноразмерных областей в стеклообразных материалах / Т.В. Бочарова, Г.О. Карапетян, А.М. Миронов, К.Г. Карапетян. – СПб.: Изд-во Политехнического университета. – 2008. – 126 с.
6. *Таганцев Д.К.* Физико-химические основы разработки стеклообразных материалов и элементов для фотоники: Автореф. дисс. …д-ра хим.наук, СПб., 2010.
7. *Khanin S.D.* Structure inhomogeneities of the oxide dielectric and the properties of tantalum capaciotors / S.D. Khanin. – Materials Science Forum. – 1995.- Vols. 185 – 188. – P. 573-580.
8. *Böttger H.* Hopping Conduction in Solids. / H. Böttger, V. Bryksin – 1985. – VCH. – 420 p.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.04

Т.Е. Иванова, А.В. Исмагилова

Тюменский государственный нефтегазовый университет, институт промышленных технологий и инжиниринга, кафедра общей и физической химии, Тюмень, emt@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ АДАТОМОВ ТАЛЛИЯ НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕДИ

В работе представлены результаты исследования начальных стадий электрокристаллизации меди в присутствии адсорбированных на электроде атомов таллия. Показано, что адатомы таллия активируют поверхность катода, способствуя значительному увеличению числа зародышей меди и влияя на механизм зародышеобразования.

Ключевые слова: *электроосаждение меди, адатомы, электрокатализ, электрокристаллизация, механизм зародышеобразования.*

Процессы электрохимической нуклеации в значительной мере определяют физико-механические свойства гальванических покрытий. Начальные стадии электрокристаллизации меди наиболее подробно исследованы в сернокислотных и сульфатных электролитах на платине [1-4], меди [5], стали [6] и стеклоуглероде [7-9].

Сравнительно новой областью исследований является влияние адатомов металлов на начальные стадии электроосаждения металлов и сплавов [10-14]. При электроосаждении меди из нитратных электролитов в присутствии микроколичеств таллия, свинца и ряда других металлов, наблюдается каталитическое влияние адатомов таллия на электроосаждение меди [15-17]. Представляет интерес изучить механизм каталитического влияния адатомов на начальные стадии электрокристаллизации меди.

Образование и рост зародышей меди на платине и стеклоуглероде в импульсном потенциостатическом режиме удовлетворительно описывается с позиций модели Шарифкера и Мостани [18-21]. Эти сведения послужили основой выбора модели для обработки экспериментальных данных, приведенных в настоящей публикации.

Исследования начальных стадий электрокристаллизации в импульсном потенциостатическом режиме проводили с помощью потенциостата-гальваностата «IPC-Pro» (НТФ «Вольта», ФГУП «ГосНИИхиманалит», С.-Петербург). Осаждение меди на стеклоуглеродном электроде (СУ-2000) в двухимпульсном потенциостатическом режиме осуществлялось с помощью потенциостата ПИ-50-1 с программатором импульсов ПР-8 Гомельского ПО «Измеритель», интерфейсным блоком «Графит-2» (НТФ «Вольта» г. С.-Петербург) и ПК IBM PC Pentium-4. Максимальная абсолютная погрешность регулирования потенциала рабочего электрода программатором не превышала ± 0,0005 В. Время переходного процесса установления потенциала рабочего электрода – не более 1 мкс. Методика подготовки электродов и конструкция ячейки описаны ранее и являются стандартными для электрохимических измерений [16,17]. Структуру поверхности и состав свежеосажденных образцов исследовали в растровом электронном микроскопе (JEOL JSM 6380) с интегрированной системой энергодисперсионного микроанализа (JED-2300).

При электроосаждении в двухимпульсном потенциостатическом режиме, наблюдается принципиальное изменение структуры микроосадков меди в присутствии адатомов таллия (рис. 1). Из растворов нитрата меди без добавок таллия, при потенциале начального импульса, образуются единичные зародыши металла, которые доращиваются в течение второго импульса, формируя за время электролиза крупные кристаллиты с четкими кристаллографическими формами. В присутствии адатомов таллия в тех же условиях электролиза наблюдается явно выраженная полидисперсность осадка: формируются, в

основном, кристаллиты полусферической формы различных размеров, число которых значительно больше, чем без добавок таллия. Значительные вариации дисперсности свидетельствуют о смене механизма зародышеобразования меди в присутствии таллия с мгновенного на прогрессирующий.

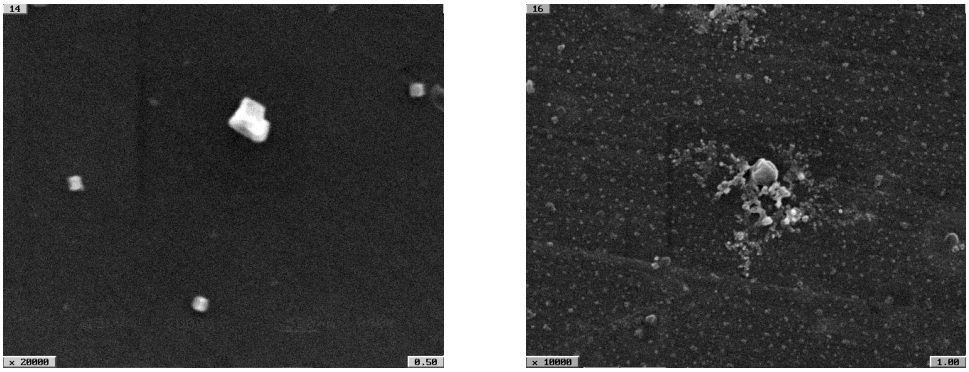


Рис. 1- Начальные стадии электрокристаллизации меди на СУ электроде в двухимпульсном потенциостатическом режиме: а) электролит меднения; б) в присутствии адатомов таллия; х20 000; E_1= -0.10 В; τ_1 = 1 с; E_2= +0.01 В; τ_2 = 20 мин

Диапазон потенциалов проявления электрокристаллизации, как контролирующей стадии электроосаждения, значительно сужен в нитратном электролите началом побочных реакций катодного восстановления нитрат-ионов (-0.27 В, нас.к.э.). В диапазоне потенциалов импульса -0.10÷-0.18 В транзиенты тока имели растущий участок после характерного для зародышеобразования индукционного периода и последующий спад тока, на участке которого токи слабо зависели от потенциала (рис.2). На растущих участках потенциостатических кривых наблюдаются линейные зависимости в координатах i - $\tau^{1/2}$ с наклоном, зависящим от потенциала, что в рамках данной модели является подтверждением мгновенной нуклеации меди и последующего роста осадка, контролируемого диффузией. По уравнению для скорости роста фиксированного числа зародышей N в условиях полусферической диффузии [21]:

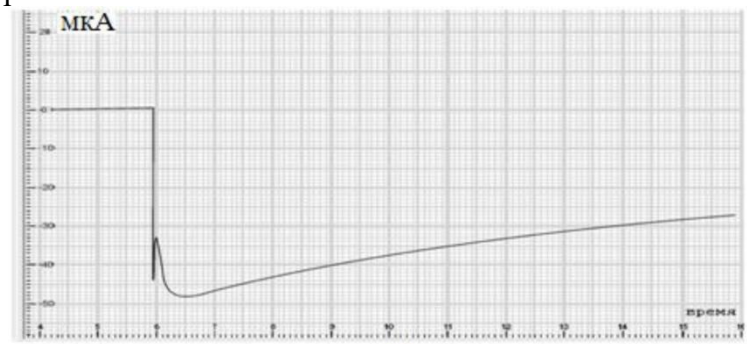
$$i = zF\pi N(2Dc)^{3/2}M^{1/2}\tau^{1/2}/\rho^{1/2}, \qquad (1)$$

где τ - время; ρ - плотность; M – молярная масса, рассчитано число зародышей для ряда потенциалов в исследованном диапазоне (табл.).

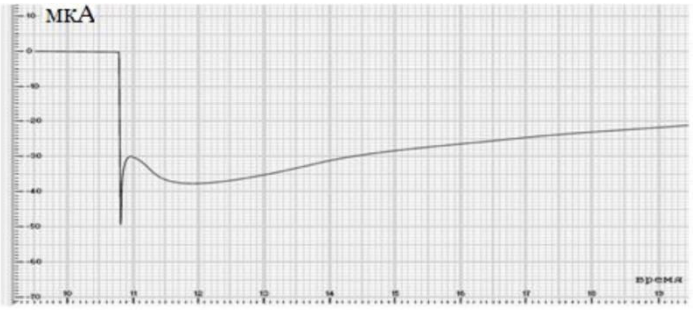
По параметрам максимума тока потенциостатических кривых рассчитаны предельные числа центров нуклеации N_0 из уравнения [20]:

$$\frac{i_m \tau_m^{1/2}}{a} = 1 - e^{-в\tau_m}, \qquad (2)$$

где $a = zFD^{1/2}c/\pi^{1/2}$, $b = N_0\pi kD$. Сопоставление параметров N и N_0, рассчитанных для ряда кривых, показывает удовлетворительное совпадение и свидетельствует о применимости данной модели к условиям осаждения: заполнение поверхности происходит в результате мгновенной нуклеации и медленного роста фиксированного числа зародышей в режиме диффузионного контроля.



а



б

Рис. 2- Потенциостатические транзиенты тока электроосаждения меди на СУ из 0.1 М KNO_3; $C_{Cu(NO_3)_2}$ = 5·10^{-3} М; $E_{имп}$, В: а)-0.1; б)-0.18. C_{TlNO_3} , М: а)0; б)10^{-3}.

В присутствии ионов таллия транзиенты тока с характерным максимумом регистрировались в диапазоне потенциалов -0,18÷ -0,26 В. В области растущего тока линейны зависимости в координатах i - $\tau^{3/2}$, что характерно для прогрессирующего зародышеобразования. По уравнению для прогрессирующей нуклеации с диффузионным контролем роста [20]:

$$i = 2\, zFAN_{\infty}\pi(2Dc)^{3/2}M^{1/2}\tau^{3/2}/3\rho^{1/2}, \qquad (3)$$

рассчитаны кинетические параметры нуклеации в виде произведения AN_{∞}: А – константа скорости образования зародышей, N_{∞} - предельное число зародышей.

Таблица. Влияние таллия на параметры нуклеации меди

Без Tl^+			В присутствии Tl^+					
E, В	$N\cdot10^{-5}$ см$^{-2}$	$N_0\cdot10^{-5}$ см$^{-2}$	E, В	$AN_0\cdot10^{-5}$ с$^{-1}\cdot$ см$^{-2}$	$AN_{\infty}\cdot10^{-5}$ см$^{-2}$	$N_{\infty}\cdot10^{-5}$ см$^{-2}$	$N_0\cdot10^{-5}$ см$^{-2}$	A, с$^{-1}$
-0,1	3,29	3,68	-0,16	3,74	0,91	8,70	35,60	0,105
-0,12	3,98	4,05	-0,18	4,90	0,90	9,05	41,88	0,106
-0,14	4,63	4,87	-0,20	12,20	1,43	12,43	102,50	0,115
-0,16	6,23	6,55	-0,24	31,80	2,80	23,09	262,80	0,121
-0,18	9,82	11,30	-0,26	43,10	4,20	33,60	344,80	0,125

Если предположить, что зарождение прекращается в результате перекрывания диффузионных зон (что в условиях эксперимента представляется вполне реальным), то предельное число зародышей можно рассчитать по уравнению [4]:

$$N_{\infty} = \left(\frac{3AN_0}{8\kappa D}\right)^{1/2}, \qquad (4)$$

где k = $(8\pi CM/\rho)^{1/2}$. Произведение AN_0 рассчитывали по координатам максимума транзиентов тока [21]:

$$\frac{i_m \tau_m^{1/2}}{a} = 1 - exp\left(-Ab\,\tau_m^2/2\right), \qquad (5)$$

Определив по графику i - $\tau^{3/2}$ произведение AN_{∞}, можно оценить количественно величину константы А. Как видно из таблицы, в присутствии таллия число активных центров поверхности N_0 значительно больше. Данная закономерность свидетельствует о том, что адатомы таллия активируют поверхность, создавая возможность для формирования большого числа зародышей. Очевидно, что данное влияние и является причиной столь разных по виду осадков, формируемых на стадии разрастания зародышей и демонстрируемых на рис.1. Таким образом, в рамках выбранной модели установлено, что в отсутствии таллия идет мгновенное заполнение доступных центров кристаллизации, число которых растет с ростом перенапряжения. В присутствии таллия механизм зародышеобразования меняется с мгновенного на прогрессирующий. При этом число зародышей значительно возрастает ввиду дополнительной активации поверхности адатомами таллия.

Список литературы

1. *Данилов А.И.* Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия в электрохимии поверхности. // Успехи химии. 1995. Т. 64. С. 818-833.
2. *Данилов А.И., Молодкина Е.Б., Полукаров Ю.М.* Начальные стадии электрокристаллизации меди на платине. // Электрохимия. 1997. т. 33. № 37. С. 320-326.
3. *Данилов А.И., Молодкина Е.Б., Полукаров Ю.М.* Начальные стадии электрокристаллизации меди из сульфатных электролитов. // Электрохимия. - 2000. т. 36. № 9. С. 1106-1117, 1118-1129.
4. *Данилов А.И., Полукаров Ю.М.* Современные представления о процессах образования и роста зародышей новой фазы в потенциостатических условиях. // Успехи химии. 1987. т.46. № 7. С. 1082-1104.
5. *Ogata J., Jamakawa K., Joshizawa S.* Current time behaviour for copper electrodeposition. II. Experimental examination of surface diffusion and direct incorporation models at hemispherical sites. // J. of applied electrochemistry. 1982. V.12. P.449-461.
6. *Джюве А.П., Юшкененс В.* Начальные стадии электрокристаллизации меди из сернокислых растворов на нержавеющей стали. // Химия. Лит. АН. 1990. т.2. №177. С.23-31.
7. *Java S., Prasada Rao T., Prabhakara Rao.* G. Electrochemical phase formation – I. The electrodeposition of copper on glassy carbon. // Electrochim Acta. 1986. - V. 31. P. 343-348.
8. *Arzhanova T., Golikov A.* Long-range order in the spatial distribution of electrodeposited copper and silver nuclei on glassy carbon. // J. Electroanal. Chem. 2003. V.558. P. 109-117.
9. *Grujicic D., Pesic B.* Electrodeposition of copper: The nucleation mechanisms. // Electrochim Acta. 2002. V. 47. №18. P. 2901-2912.
10. *Петрий О.А., Цирлина Г.А.* Электрокатализ адатомами. // Итоги науки и техники. Сер. Электрохимия. М.: ВИНИТИ. 1988. Т. 27. С. 3-61.
11. *Брайнина Х.З., Кальнишевская Л.Н.* Катализ электроосаждения адатомами. // Электрохимия. 1987. Т. XXIII. № 2. С. 222-226.
12. *Despic A.R.* Effect of foreign metal adatoms on metal deposition and dissolution. // Symp. Electrocryst. Proc. Elektrochem. Soc. N-Y. 1980. P. 101.
13. *Бек. Р.Ю., Шураева Л.И.* Исследование кинетики электроосаждения золота из цианистых электролитов при контролируемой степени покрытия поверхности атомами таллия. // Электрохимия. 2003. Т. 39. № 3. С. 258.
14. *Mclntyre I.D.E., Peck W.F.* Electrodeposition of gold. //J. Electrochem. Soc. 1976. V.123. № 12. P.1800-1813.
15. *Иванова Т.Е., Муслимова А.В., Захаров М.С., Мокина Т.Л.* Электрокаталитические процессы при электроосаждении меди из нитратных электролитов в присутствии катионов таллия.// В сб.: Нефть и газ: проблемы недропользования, добычи и транспортировки. Материалы научно-техн. конференции; направление: фундаментальные исследования, г. Тюмень, 25-26 сентября 2002г. Тюмень. ТюмГНГУ. С. 66.
16. *Иванова Т.Е., Муслимова А.В.* О природе предельных токов при электровосстановлении меди из нитратных электролитов.// Сб.статей межвузовской научной конфер. «Вольтамперометрия и электроосаждение металлов», посвященная 75-летию М.С.Захарова. 15окт. 2004г. Тюмень. ТюмГНГУ. С.26-36.
17. *Иванова Т.Е., Исмагилова А.В.* Каталитическое влияние таллия на электровосстановление Cu(II) из нитратных электролитов.//Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2013. Т. 56. №1. С.35-39.
18. Gunawardena G., Hills G., Montenegro I. Electrochemical nucleation. Part IV. Electrodeposition of copper on to vitreous carbon. // J. Electroanal. Chem. 1985. V.184. P. 357-369.
19. *Данилов А.И., Полукаров Ю.М.* Современные представления о процессах образования и роста зародышей новой фазы в потенциостатических условиях. // Успехи химии. 1987. т.46. № 7. С. 1082.
20. *Scharifker B.R., Mostany J.* Three-dimensional nucleation with diffusion controlled growth. Part I. Number density of active sites and nucleation rates per site. // J. Electroanal. Chem.1984.V.177.P.13-23.
21. *Gunawardena G., Hills G., Montenegro I., Scharifker B.* Electrohemical nucleation. Part I. // J. Electroanal. Chem. 1982. V.138. P. 225-239.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.04.02

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов к.т.н., М.М. Гимадеев к.т.н.,
В.А. Кривошеев к.т.н., А.Т. Кулаков д.т.н

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал), автомобильное отделение,
кафедра механики и конструирования, Набережные Челны, minakhmetg@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯГАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МОНТАЖНУЮ МАКРОГЕОМЕТРИЮ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА

Проведено моделирование в Siemens NX процесса сборки гильзы цилиндра на примере дизеля КАМАЗ и оценка возникающих при этом изменений макрогеометрии гильзы вследствие отклонений от теоретической формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей.

Ключевые слова: *гильза цилиндра, допуски формы и расположения поверхностей, газовый стык, изменение геометрии.*

На долговечность и надёжность двигателей внутреннего сгорания, их предельно допустимую форсировку и экономические показатели существенное влияние оказывает монтажная, то есть образовавшаяся после сборки, макрогеометрия основных несущих деталей двигателя. Это в основном детали цилиндропоршневой группы и, в первую очередь, гильза цилиндра.

Гильза цилиндра по выполняемым функциям и по предъявляемым к ней требованиям среди теплонапряжённых деталей двигателя занимает особое место. Следует отметить, что обеспечение только одной прочности гильзы, несмотря на всю важность этого требования, недостаточно для длительной и надёжной работы двигателя внутреннего сгорания. При этом сохранение правильной геометрической формы гильзы и обеспечение износостойкости её рабочей поверхности являются определяющими условиями надёжной эксплуатации двигателя в пределах заданного ресурса.

Проведение натурных испытаний двигателя и исследование состояния его узлов и агрегатов на практике достаточно дорого. В связи с этим авторами было проведено моделирование в Siemens NX процесса сборки гильзы цилиндра на примере дизеля КАМАЗ и оценка возникающих при этом изменений макрогеометрии гильзы.

Как известно, у любой детали действительные поверхности, полученные в результате обработки, имеют отклонения от теоретической формы и от требуемого расположения относительно других поверхностей данной детали. При этом установленные предельные допуски формы и расположения поверхностей должны обеспечить намеченные сопряжения рабочих поверхностей деталей, а также положения самих деталей в сборочной единице, обеспечивая тем самым заданное взаимодействие сопрягаемых деталей.

Гильзы цилиндров двигателей КАМАЗ съёмные, мокрого типа, изготавливаются из специального чугуна. Для установки в блок цилиндров у гильзы в верхней части выполнен бурт. Соединение «гильза – блок цилиндров» уплотняется резиновыми кольцами круглого сечения. В верхней части кольцо устанавливается под бурт в проточку гильзы, в нижней части два кольца – в расточки блока. У двигателей КАМАЗ головки цилиндров отдельные на каждый цилиндр. Закрепляются четырьмя болтами. Газовый стык головки цилиндров уплотняется стальной прокладкой, которая деформируется стальным опорным кольцом, запрессованным на нижней плоскости головки.

Центрирование гильзы осуществляется за счёт наружных поясков - верхнего и нижнего. После проведения сборки в указанных сопряжениях гильзы цилиндров могут появиться

концентрации напряжений, что может привести к изменениям её первоначальной геометрии. Основными факторами, влияющими на геометрию гильзы в процессе сборки двигателя, можно считать устанавливаемые допуски формы и расположения поверхностей в местах контакта гильзы с блоком цилиндров и головкой цилиндров [1].

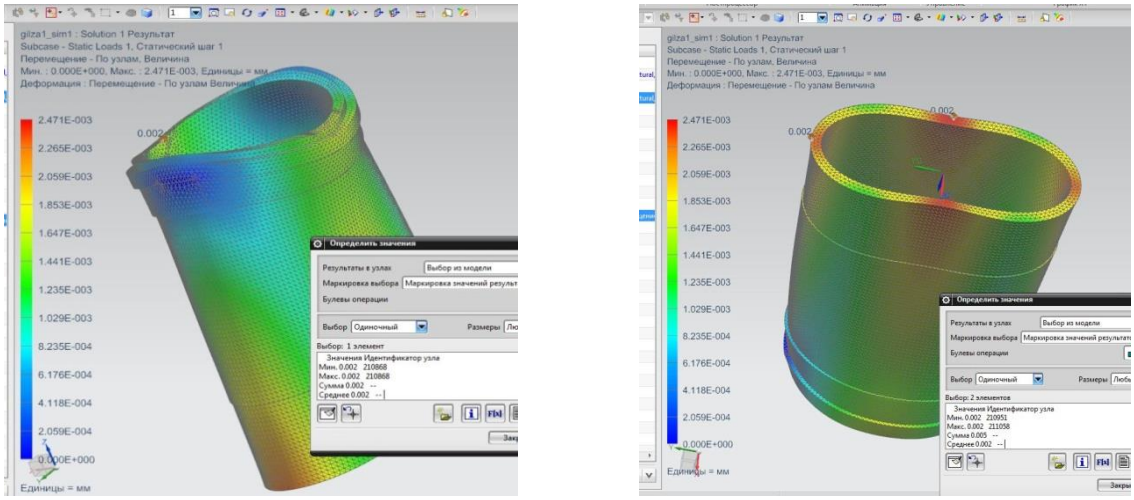
Рассмотрим несколько вариантов нагружения бурта гильзы в процессе её установки в блок. В первом варианте исследования принимаем, что контактные поверхности сопряжения «гильза - блок» изготовлены «идеально», то есть с нулевыми предельными отклонениями форм и расположения поверхностей, поверхности сопряжения «гильза – газовый стык» имеют отклонения форм и расположения поверхностей. При таком варианте нагружения гильзы при затяжке болтов крепления головки цилиндров, происходит неравномерное распределение нагрузки на опорные поверхности бурта гильзы, что приводит к его изгибу. Этот процесс моделируем приложением сосредоточенных усилий в радиально противоположных точках бурта гильзы. Величина этих усилий при первоначальном моделировании была задана равной 10 кН (усилие затяжки каждого болта у двигателя КАМАЗ составляет около 200 кН).

Результаты моделирования показали, что при таком нагружении происходит овализация гильзы, причём степень овализации увеличивается к нижней части гильзы. При этом максимальная величина деформации гильзы составляет $6.23 \cdot 10^{-5}$ мм. Полученные значения намного меньше установленных предельных допусков формы и размеров при изготовлении данной детали.

Примерно такие же значения деформации гильзы получаются при втором варианте нагружения, когда сопряжение «гильза - газовый стык» имеет идеальный контакт, а сопряжение «гильза - блок» имеют отклонения форм и расположения поверхностей.

Рассмотрим третий вариант нагружения, когда имеются отклонения форм и расположения поверхностей контакта с обеих сторон бурта гильзы. При этом выберем самое неблагоприятное расположение гильзы: максимальные отклонения форм примем расположенными во взаимно перпендикулярных плоскостях. При тех же значениях сосредоточенных усилий в 10 кН величина деформация как в верхней, так и в нижней частях гильзы составляет 0.002 мм. Результаты моделирования представлены на рисунке: а) в верхней части гильзы, б) в нижней части. При дальнейшем, даже незначительном, увеличении усилия нагружения величина деформации внутренней поверхности гильзы цилиндров уже составляет десятки микрометров. Влияние овальности гильз цилиндров на интенсивность изнашивания деталей цилиндропоршневой группы в процессе эксплуатации двигателя рассмотрены в работах [2, 3].

Следует заметить, что неравномерное распределение нагрузки на опорный бурт гильзы цилиндра двигателей КАМАЗ может возникнуть и из-за конструктивных особенностей крепления головки цилиндров.



а) б)

Рисунок - Результаты моделирования: а) в верхней части гильзы, б) в нижней части

Выводы

Таким образом, величины установленных предельных значений допусков формы и расположения поверхностей гильзы цилиндров и сопрягаемых с ней деталей оказывают существенное влияние на изменение геометрии гильзы цилиндра после сборки двигателя.

Кроме того, гильзы форсированных дизелей характеризуются высокой тепловой и механической напряжённостью. Поэтому образуемая после сборки монтажная макрогеометрия основных несущих деталей двигателя должна быть учтена ещё в процессе проектирования, так как она в дальнейшем может оказать существенное влияние на долговечность двигателя.

Список литературы

1. *Кулаков А.Т.* Резервы повышения ресурса цилиндропоршневой группы дизельного двигателя / А.Т. Кулаков, Р.Х. Маннанов // Пути интенсификации работы автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. Саратов: Сарат. политехн. инст. 1988. С. 21-29.
2. *Денисов А.С.* Влияние овальности гильз цилиндров на интенсивность изнашивания деталей цилиндропоршневой группы / А.С. Денисов, С.С. Григорьев // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. Сарат. политехн. ин-т. Саратов, 1979. С. 48-50.
3. *Денисов А.С.* Изменение макрогеометрии гильз цилиндров в процессе эксплуатации двигателя / А.С. Денисов, С.С. Григорьев // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. Сарат. политехн. ин-т. Саратов, 1978. С. 32-37.

05.07.09

В.Т. Бобронников, Хуан Ичун

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Аэрокосмический факультет, Кафедра «системный анализ и управление»,
Москва, vlbobronnikov@yandex.ru, e-mail: huanyiqun@mail.ru

АНАЛИЗ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ

В работе дается описание типовых схем полетов, типовых миссий и соответствующих им схем полетов, обсуждаются основные трудности реализации полетов к Луне. В заключении указываются основные типы миссий и схем полетов, применительно к которым предполагается провести дальнейшие исследования задачи анализа траекторий движения ЛА с учетом случайных и интервально неопределенных факторов.

Ключевые слова: *Луна, лунный космический аппарат, траектории полетов к Луне, неопределенные факторы*.

Введение

Полеты к Луне являются одним из актуальных направлений развития современной космонавтики. Возрастает частота полетов, расширяется перечень решаемых научных задач, повышаются требования к точности реализации траекторий полетов, больше внимания уделяется энергетической и экономической эффективности полетов. Теория механики движения космических аппаратов (КА), формирование межпланетных траекторий полета КА и проблемы управления движением КА рассмотрены в работах [1,2].

Целью статьи является краткий обзор выполненных и планируемых задач полетов к Луне и схем полетов, используемых при реализации этих задач, для выбора наиболее актуальных схем, применительно к которым в дальнейшем предполагается разработать методику анализа траекторий движения лунных аппаратов (ЛА) в присутствии случайных и интервально неопределенных факторов.

Типовые схемы полетов

К настоящему времени более 100 ЛА совершали полет к Луне, хотя половина из запусков оказалась неудачными. С развитием науки и техники различные цели полетов реализуются с использованием различных траекторий. Общие подходы к формированию лунных траекторий рассмотрены в [3].

1. Выведение на лунную траекторию

а. Непрерывная схема

Траектория движения ЛА к Луне формируется на этапе выведения с помощью ракеты-носителя (РН) и начинается сразу после отделения ЛА от РН. Непрерывная схема выведения китайского ЛА «Чаньэ-2» описана в [4].

б. Один или несколько разгонов с геоцентрической орбиты (рис. 1)

В начале ЛА с помощью РН выводится на опорную геоцентрическую орбиту. После отделения ЛА от РН аппарат переводится с опорной на лунную траекторию путем однократного или многократного включения двигателя разгонного блока. Маневр выведения китайского ЛА «Чаньэ-1» представлен в [5].

2.Перелет от Земли к Луне

а. Прямая схема

Прямая траектория состоит из двух участков: геоцентрическая полуэллиптическая орбита и селеноцентрическая гиперболическая орбита в сфере действия Луны с радиусом 66160 км. Траектории на этих двух участках деформируются гравитационными возмущениями от Солнца, Луны, сжатия Земли и др. При проектировании траекторий применяется модель «сопряженных конических сечений» между участками. Если широта космодрома не превышает 28°36', то возможен компланарный перелет. Методы проектирования траекторий прямого полета к Луне описаны в [6, 9, 11, 13]. Пространственная схема приведена на рис. 2.

б. Слабоэнергетическая схема

В последние годы большое внимание уделяется «слабоэнергетической» схеме полета. Ее преимуществом является энергетическая экономичность, а недостатком - большая длительность полета, которая может составлять несколько месяцев. Траектории такого типа анализировались в работах [7,8].

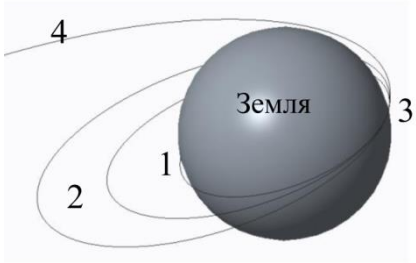


Рис. 1. Несколько разгонов с геоцентрической орбиты
1 – выведение РН; 2 – опорные орбиты;
3 – импульсы; 4 – орбита перелета к Луне.

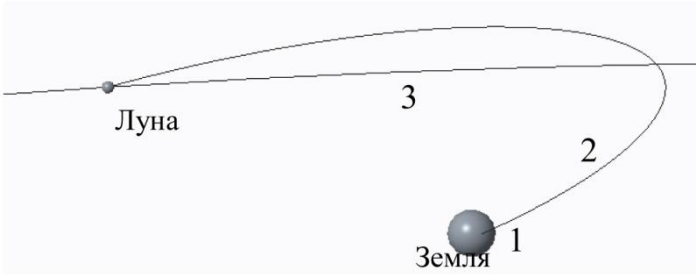


Рис. 2. Пространственная прямая схема
1 – выведение; 2 – прямая орбита перелета к Луне; 3 – лунная орбита.

в. Перелет с малой тягой

Для уменьшения расхода топлива и использования гравитационного поля Луны может быть использован электрореактивный двигатель малой тяги [18]. Солнечная электрическая двигательная установка (ДУ) применялась на европейском ЛА «Смарт-1».

1. Сближение с Луной

а. Пролет Луны

Пролет Луны легко реализуем. Торможение у Луны не обязательно. Пролетные операции описаны в [9].

б. Прямое попадание в Луну

При прямом попадании в Луну реализуется, так называемая, «жесткая посадка». Аппарат попадает в Луну с большей скоростью без торможения и может разрушиться или проникнуть в лунный грунт. Точки попадания ограничены видимой стороной Луны из-за ее синхронного вращения вокруг Земли. Попадающая траектория рассмотрена в [6].

в. Попадание в Луну с селеноцентрической орбиты

ЛА тормозится, чтобы обеспечить высоту периселения ниже высоты поверхности Луны. После этого ЛА попадает в Луну и может разрушиться или проникнуть в лунный грунт. В отличие от траектории прямого попадания, в данном случае ЛА может попасть с орбиты в заданную точку на лунной поверхности, но требуется дополнительное торможение, при котором расходуется рабочее тело. Прямое попадание китайского ЛА «Чаньэ-1» было проанализировано в [10].

г. Вертикальная мягкая посадка на лунную поверхность

Луна располагается по нормали к траектории ЛА, движущегося к Луне. После торможения ЛА движется с малой скоростью (обычно меньше 5 м/с), и совершает посадку на лунную поверхность. Возможные точки посадки ограничены из-за синхронного вращения Луны относительно ее оси вращения. Вертикальная мягкая посадка рассмотрена в [9, 11].

д. Переход на селеноцентрическую орбиту

ЛА захватывается Луной после маневра перехода в конце прямой или слабоэнергетической траектории перелета и начинает движение по целевой селеноцентрической орбите. Построение так называемой «замороженной» селеноцентрической орбиты рассмотрено в [12, 15] .

е. Мягкая посадка с селеноцентрической орбиты

Как правило, круговая или околокруговая селеноцентрическая орбита ожидания имеет высоту 100…200 км. Вначале лунный спускаемый аппарат (ЛСА) переходит на промежуточную орбиту с высотой перигея около 15 км. В отличие от вертикальной посадки, ЛСА может осуществить посадку с орбиты в произвольную точку посадки. Задача оптимизации траектории основного торможения рассмотрена в [11, 13]. Этапы типового

процесса мягкой посадки на лунную поверхность с селеноцентрической орбиты указаны в табл. 1.

Таблица 1 - Типовые этапы процесса мягкой посадки на лунную поверхность с селеноцентрической орбиты

Высота	Участок
100 *км*	Переход на орбиту 15*км*×100*км*
со 100 *км* до 15 *км*	Пассивный участок
с 15 *км* до 2400 *м*	Основное торможение
с 2400 *м* до 100 *м*	Прецизионный спуск
со 100 *м* до 1.5 *м*	Маневр в горизонтальном направлении и медленный спуск
с 4 *м* до поверхности Луны	Свободное падение

2. Взлет с Лунной поверхности

а. Прямой взлет с лунной поверхности

В простейшем варианте взлетная ступень (ВС) разгоняет ЛА до заданной скорости, направленной по нормали к лунной поверхности. После этого возвращаемый аппарат совершает полет к Земле. Прямой взлет описан в [9].

б. Стыковка на селеноцентрической орбите (рис. 3)

ВС запускается и переходит на так называемую «траекторию перехвата». Затем ВС разгоняется для выхода на орбиту основного блока. Начинается групповой полет и выполняется стыковка. Процесс стыковки описан в [9].

3. Перелет от Луны к Земле

а. Прямая схема

Как и прямой перелет «Земля-Луна», перелет от Луны к Земле рассмотрен в [9, 13].

б. Обходная схема

Построены также «обходные» схемы перелета Луна-Земля, при которых осуществляется пассивное освобождение от лунного притяжения вблизи точек либрации $L1$ или $L2$ [14]. Такая схема полета спроектирована, но к настоящему времени еще не осуществлена.

4. Возвращение в атмосферу Земли

а. Баллистический спуск

Возвращаемый ЛА (ВА) входит в земную атмосферу в коридоре входа. На аппарат не действует подъемная сила. На ВА действует большая перегрузка (максимально больше 100), а точность посадки - низкая. Баллистическая траектория спуска проанализирована в [13]. Для уменьшения перегрузки спуска может применяться метод «тормозных эллипсов», т.е. торможения происходят раздельно.

б. Спуск с малым аэродинамическим качеством

ВА входит в атмосферу в коридоре входа. На аппарат действует малая подъемная сила по сравнению с силой сопротивления. Благодаря управляемости аппарата снижаются перегрузки и повышается точность. Для уменьшения перегрузок может быть реализована траектория с «отражением» в земной атмосфере. Спуск с малым аэродинамическим качеством проанализирован в [9, 13]. Схема спуска с отражением представлена на рис. 4.

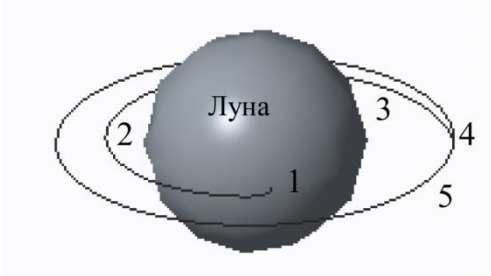


Рис.3. Стыковка на селеноцентрической орбите
1 – старт; 2 – начальная орбита;
3 – траектория встречи; 4 – разгон для выхода;
5 – групповой полет и стыковка.

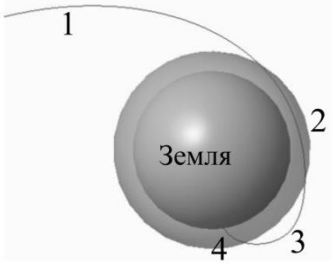


Рис.4. Спуск с «отражением»
1 – траектория от Луны;
2 – торможение в атмосфере;
3 – выход из атмосферы; 4 – посадка.

Типовые миссии и соответствующие схемы полетов

Космические полеты к Луне производятся с различными целями, в первую очередь для проведения научных исследований. Как правило, при реализации научных миссий решаются рассматриваемые ниже следующие основные задачи миссий.

1. Наблюдение и дистанционное зондирование Луны

Для наблюдения и зондирования Луны необходимо пролетать в окрестности Луны или переходить на селеноцентрическую орбиту. Возвращение на Землю не требуется, но в конце миссии ЛА может упасть на поверхность Луны для исследования состава лунного грунта. Для реализации данных целей полета могут применяться слабоэнергетические перелеты благодаря их энергетической экономичности. Возможные варианты участков приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Возможные варианты участков для наблюдения и зондирования Луны

Процесс	1	2	3	4	5	6
Возможные	а, б	а, б, в	а, д+в	-	а	а, б
Лучшие	а	б	д+с	-	-	-

В таблице используются следующие обозначения процессов, применяемых при реализации отдельных участков: 1 - выведение, 2 - перелет «Земля-Луна», 3 – приближение к Луне, 4 - взлет, 5 - перелет «Луна-Земля», 6 - возвращение. Описания процессов приведены выше в разделе «Типовые схемы полетов».

2. Автоматическая доставка на Землю образцов лунного грунта

Для доставки лунного грунта ЛА должен осуществить мягкую посадку на поверхность Луны. С учетом длительной продолжительности слабоэнергетического перелета ЛА такого типа должен обладать солнечной батареей, что усложняет конструкцию аппарата. Большая продолжительность полета является одной из причин, из-за которой слабоэнергетический перелет не предполагается применить в будущей китайской программе «Чаньэ-5». Благодаря энергетической экономичности и малой перегрузке посадка с селеноцентрической орбиты, стыковка на селеноцентрической орбите и спуск с малым аэродинамическим качеством будут широко применяться. Возможные варианты участков приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Возможные варианты участков для доставки лунного грунта

Процесс	1	2	3	4	5	6
Возможные	а, б	а, б	г, е	а, б	а, б	а, б
Лучшие	а	а	е	б	а	б

3. Пилотируемые полеты на Луну

Такая миссия реализуется аналогично автоматической доставке на Землю образцов лунного грунта. Однако с учетом возможностей человеческого организма, продолжительность полета и перегрузки ограничены. Следовательно, слабоэнергетический перелет нельзя применяться из-за его большой продолжительности, а баллистический спуск нельзя применять из-за больших перегрузок. Вертикальная посадка и прямой взлет не могут применяться из-за невозможности отмены миссии при возникновении нештатных ситуаций. Возможные варианты участков приведены в табл. 4.

Таблица 4 - Возможные варианты участков траектории для доставки экипажа на Луну

Процесс	1	2	3	4	5	6
Возможные	а	а	е	б	а	б
Лучшие	а	а	е	б	а	б

4. Научная экспедиция на лунную поверхность

Целью научной экспедиции на лунную поверхность может быть доставка лунохода или построение станции (возвращение на Землю является отдельной миссией). Возможные варианты участков приведены в табл. 5.

Таблица 5 - Возможные варианты участков для научной экспедиции

Процесс	1	2	3	4	5	6
Возможные	а, б	а, б	г, е	-	-	-
Лучшие	а	б	е	-	-	-

Неопределенные факторы при полете

Во время полета на движение ЛА оказывают возмущающее влияние неопределенные факторы. Существуют три основных источника неопределенных факторов:

1. Ошибки навигационной системы

При измерении параметров движения КА с помощью навигационной системы возникают случайные ошибки в оценках параметров движения ЛА, зависящие от точности навигационных приборов и алгоритмов работы навигационной системы. Кроме того, могут иметь место ошибки реализации программной ориентации КА, а также программ тангажа и рыскания.

2. Неустойчивость работы двигательной установки

При работе двигателя может наблюдаться неустойчивая подача компонентов топлива в камеру сгорания и их нестабильное сгорание в камере. Эти факторы приводят к случайным отклонениям тяги и секундного расхода топлива от расчетных значений и влияют на точность реализации маневров ЛА.

Указанные в п. п. 1 - 2 случайные факторы влияют как на точность реализации траекторий управляемого движения ЛА на различных этапах миссии, так и на запасы топлива, которые должны быть предусмотрены на борту ЛА для компенсации негативного влияния этих факторов.

Для учета влияния этих факторов на этапе формирования системы управления (СУ) ЛА и при управлении движением ЛА в реальном полете необходимо применять методы априорного и апостериорного статистического анализа динамических систем [19] .

3. Неточность моделей прогноза движения ЛА

При формировании траекторий полета ЛА могут применяться приближенные модели движения ЛА, такие как модель «сопряженных конических сечений» и модель «расположенных конических сечений». Точность этих моделей снижается с ростом времени перелета.

Неточность и неполнота моделей природных факторов, влияющих на реализуемые траектории управляемого движения ЛА, но не известных заранее, или не учтенных на этапе проектирования траекторий, можно рассматривать в качестве «интервально неопределенных» факторов. Единственной информацией, которую можно задать на этапах планирования и реализации миссии, являются интервалы возможных значений этих факторов.

Задачу определения запасов топлива, необходимых для реализации различных этапов полета ЛА, а также эффективность реализации миссии в присутствии интервально неопределенных факторов, необходимо решать в минимаксной постановке, т.е. находить наименьшее количество топлива и алгоритмы управления движением ЛА, гарантирующие реализацию миссии при худших значениях этих факторов в заданных интервалах их неопределенности.

Заключение

Согласно вышеописанному анализу, можно сделать следующие выводы относительно миссий и траекторий полетов к Луне:

1. Рациональная схема полета ЛА должна выбираться в соответствии с целью миссии. «Чанъэ-5» представляет собой будущий китайский первый возвращаемый аппарат с поверхности Луны. Миссия «Чанъз-5» является 3-м этапом китайских экспедиций на Луну, которая выполняет задачи доставки образцов лунного грунта на Землю. Аппарат «Чанъэ-5» будет состоять из 4 модулей: орбитального, посадочного, взлетного и возвращаемого на Землю. По плану CASC (China Aerospace Science and Technology Corporation) «Чанъэ-5» будет запущен ракетой-носителем «Великий поход-5» и доставит 2 кг образцов лунного грунта на Землю в 2017-м году.

2. Для оптимизации количества топлива, необходимого для реализации миссии ЛА, а также для реализации отдельных этапов миссии с требуемой точностью при действии неопределенных факторов, формирование номинальных траекторий движения ЛА

необходимо дополнить решением задач статистического анализа траекторий в присутствии случайных факторов и поиска минимаксных решений с учетом интервально неопределенных факторов.

Список литературы

1. *Константинов М.С., Каменков Е.Ф., Перелыгин Б.П., Безвербый В.К.* Механика космического полета. – М.: Машиностроение, 1989. 408 с.
2. *Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е.* Управление космическими полетами. Части 1 – 2. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2009. Часть 1 – 476 с., часть 2 – 426 с.
3. *Ивашкин В.В.* Лунные траектории КА. // VI Всерос. научная конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики», посвящ. 40–летию НИИ ПММ ТГУ. Томск, 30 сент. – 2 окт. 2008 г. ИПМ им. Келдыша РАН, Эл. библ.: http://www.Keldysh.ru/papers/2008/source/article/Tomsk_08.pdf, 36 с.
4. *Dong Guangliang, Fan Min, Li Peijia, Huang Yong.* Chang'e–2 lunar probe orbit determination and support // Journal of astronautics. 2013. Vol.34. №.4. P.457–463.
5. *Zong Hong, Wang Shuyi, Han Dong, Wang Dayi, Li Tie Shou, Zhang Honghua, Huang Jiangchuan.* Orbit maneuver control during cislunar–transfer phase for CE–1 spacecraft // Aerospace control and application. 2008. Vol.34. №.1. P.44–50.
6. *Егоров В.А.* Пространственная задача достижения Луны. – М.: Наука, 1965. –224 с.
7. *Ивашкин В.В.* Лунные слабоэнергетические «обходные» траектории космического аппарата. // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики. Материалы V Всероссийской Научной конференции, Томск, 3–5 октября 2006 г. Изд-во Томского Гос. ун–та, 2006 г. С. 440–441.
8. *Ивашкин В.В.* Слабоустойчивые малоэнергетические лунные траектории космического аппарата. // Труды IX Междунар. Четаевской конфер. «Аналитическая механика, устойчивость и управление движением», посвящ. 105–летию Н. Г. Четаева, Иркутск, 12–16 июня 2007 г., ИДСТУ СО РАН, Иркутск, т. 5. с. 20-32.
9. *Левантовский В.И.* Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука, 1974. 488 с.
10. *Ma Maoli, Zheng Weiming, Li Jinling, Wang Guangli.* Accurate determination of impact epoch and coordinate of Chang'e–1 satellite on the moon. // Journal of astronautics. 2011. Vol.32. №.3. P.477– 481.
11. *Пономарев В.М.* Теория управления движением космических аппаратов. – М.: Наука, 1965. 456 с.
12. *Antonio Elipe, Martín Lara.* Frozen orbits about the moon. // Journal of guidance, control, and dynamics. 2003. Vol.26. №.2. P.238–243.
13. *Сихарулидзе Ю.Г.* Баллистика и наведение летательных аппаратов. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2014. 407 с.
14. *Ивашкин В.В.* О траекториях полета точки от Луны к Земле с гравитационным освобождением от лунного притяжения. // ДАН. 2004. Том 398. №.3. С. 340–342.
15. *Zhou Wenyan, Yang Weilian.* Orbit design for Chang'e–2 lunar orbiter. // Spacecraft engineering. 2010. Vol.19. №.5. P.24–28.
16. *Liu Lin, Wang Xin.* On the orbit dynamics of lunar satellite. // Progress in astronomy. 2003. Vol.21. №.4. P.281–288.
17. *Wang Dayi, Huang Xiangyu.* GNC system scheme for lunar soft landing spacecraft. // Advances in space Research. 2008. Vol.42. №.2. P.379–385.
18. *Ивашкин В.В., Петухов В.Г.* Траектории перелета с малой тягой между орбитами спутников Земли и Луны при использовании орбиты захвата Луной. // Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. № 81. 32 с. URL: http://library.keldysh.ru/preprints.asp? id=2008-81.
19. *Бобронников В.Т., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н., Лебедев А.А., Малышев В.В., Сыпало К.И., Федоров А.В.* Статистическая динамика и оптимизация управления летательных аппаратов. – М.: Альянс, 2013. 468 с.

05.22.10

Е.Ф. Бояркина, В.Г. Логачев

Тюменский государственный нефтегазовый университет, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, Тюмень, satm@mail.ru

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА УДС КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Анализируются экологические проблемы, возникающие вследствие перегрузки УДС города транспортными потоками. Рассматривается математическая модель формирования количества легковых автомобилей на УДС города и ее использование для разработки программ экологического регулирования.

Ключевые слова: *прогнозирование количества автомобилей, математические модели, экологическое регулирование.*

Существующая ситуация в стране показывает, что из-за несоответствия уровня развития улично-дорожной сети (УДС) и размера автомобильного парка скорость передвижения падает. Перегруженность УДС города транспортными потоками, низкая скорость перемещения пассажиров и грузов совместно с постоянно возникающими автомобильными заторами приводит к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий, значительным потерям рабочего и свободного времени, неэффективному расходованию топлива, росту уровня загрязнения атмосферного воздуха в городе.

Дело в том, качество атмосферного воздуха в городе на 80 % зависит от автотранспортных средств. В то время как в среднем от одного легкового автомобиля в атмосферный воздух выбрасывается 0,965 кг загрязняющих веществ в сутки, в том числе: углекислого газа - 0,72 кг, углеводородов - 0,14 кг, окиси азота - 0,1 кг, окиси серы - 0,5 кг [1, 2].

При этом сравнительный анализ выброса на разных скоростных режимах показывает, что при снижении средней скорости движения со 100 км/ч до 60 км/ч выброс окиси углерода увеличивается на 30 %, углеводородов - на 50 %, на холостом ходу выброс этих веществ соответственно возрастает в 2,5 и 2,3 раза [3]. Таким образом, необходимы меры по повышению этих скоростей и уменьшению времени задержек автомобилей.

Экологические проблемы связаны не только с загрязнением атмосферного воздуха автомобилями, но и с повышенным уровнем шума, оказывающими отрицательное влияние на условия жизни населения города. По оценкам специалистов, в городах на транспортные средства приходится от 60 до 80 % общей шумовой эмиссии [4].

Для предотвращения подобных проблем необходимо на этапе проектирования улично-дорожной сети или в процессе ее модернизации учитывать перспективы увеличения парка автомобилей.

Выбор конкретного метода – важная задача прогнозирования. В большинстве своем применение этих методов носит сложный характер, так как, чтобы дать оценку перспективам развития того или иного общественного явления, необходимо использовать целый комплекс приемов, способов – экспертные оценки, математическое моделирование, написание сценариев и целый ряд других методов. Практическое применение того или иного метода прогнозирования определяется такими факторами, как объект прогноза, сложность и структура системы, наличие исходной информации, квалификация прогнозиста.

Для парка транспортных средств городов характерен высокий удельный вес легковых автомобилей. Кроме того наблюдается тенденция к увеличению этой доли.

Общая схема формирования количества легковых автомобилей на УДС города в зависимости от влияющих факторов представлена на рис. 1.

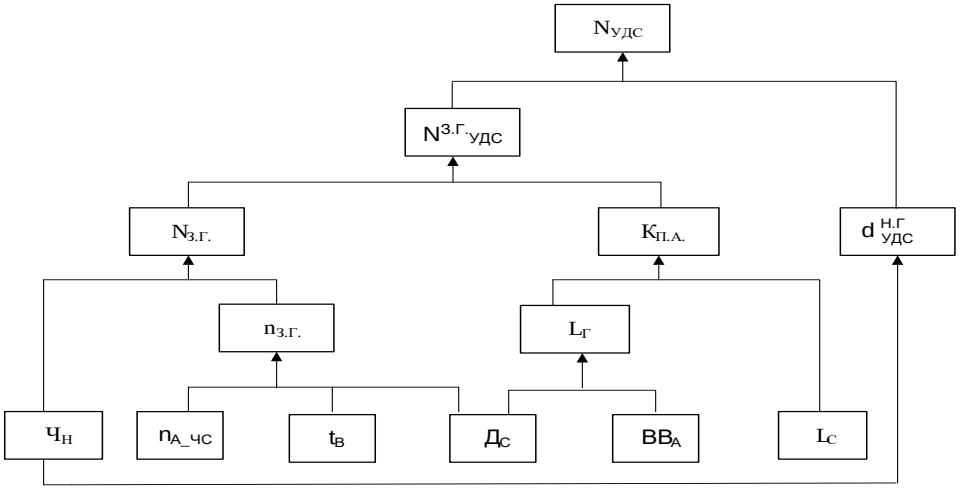


Рис. 1 - Схема взаимодействия элементов изучаемой системы

$N_{УДС}$ – количество ЛА на УДС города; $N_{З.Г.}$ – количество ЛА, зарегистрированных в городе; $n_{З.Г.}$ – количество ЛА, зарегистрированных в городе, приходящееся на тысячу жителей; $K_{П.А.}$ – коэффициент присутствия ЛА на УДС города; $d_{УДС}^{Н.Г.}$- доля незарегистрированных в городе ЛА, находящихся на его УДС, от общего количества ЛА на УДС; $L_Г$ – годовой пробег ЛА; L_C – суточный пробег ЛА; $Ч_Н$ – численность населения города; $n_{А_ЧС}$ - количество ЛА на человека в семье; $t_В$ – срок владения ЛА одного человека; $Д_С$ – доход на семью в месяц; $ВВ_А$ - возраст владельца ЛА

Такой подход к определению количества легковых автомобилей на УДС города может быть описан следующей моделью:

$$N_{УДС} = \frac{N_{З.Г} \cdot K_{П.А.}}{1 - d_{УДС}^{Н.Г.} \cdot K_{В.П.}}.$$

Следует отличать количество ЛА, зарегистрированных в городе, и находящихся на его УДС, поскольку далеко не все транспортные средства эксплуатируются с одинаковой частотой и интенсивностью.

В ходе проведения теоретических и экспериментальных исследований изучены закономерности формирования количества легковых автомобилей, зарегистрированных и незарегистрированных в городе, коэффициента появления ЛА. В результате установлено, что на процесс формирования количества легковых автомобилей на УДС города оказывают влияние такие факторы, как доход семьи, срок владения легковым автомобилем одного человека, возраст владельца легкового автомобиля, количества автомобилей на одного человека в семье и численность населения города.

С использованием известных методик [5, 6, 7] были получены математические модели закономерностей изменения указанных факторов, влияния этих факторов на функции отклика. Разработанная имитационная модель процесса формирования количества легковых автомобилей на УДС города была реализована в программной среде Matlab 7.3.0.267 R206b, приложении Simulink. На данной имитационной модели был проведен эксперимент, по результатам которого получена математическая модель формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города:

$$N_{УДС} = \frac{\left[(91 + \frac{402}{t}) \cdot \frac{723 - \frac{2 \cdot 10^4}{D}}{324} \cdot \frac{404 \cdot n^{0,7}}{230} \cdot P \right] \cdot \left[\frac{(19 - \frac{82}{D}) \cdot (\frac{20 - 0,003 \cdot BB^2}{15})}{0,051 \cdot 365} \right]}{1 - \frac{142 \cdot P^{-0,4}}{100}} \cdot (1 \pm 0,1),$$

где $N_{УДС}$ – количество ЛА на УДС города, ед.; t – срок владения автомобилем одного человека, лет; D – доход на семью в месяц, тыс. руб.; n - количество автомобилей на человека в семье, ед.; P – численность населения города, тыс. чел.; BB - возраст владельца автомобиля, лет.

На основе данной модели можно составлять прогнозы таких показателей, как количество легковых автомобилей на УДС города, количество легковых автомобилей, зарегистрированных в городе, уровень автомобилизации населения, коэффициент появления легкового автомобиля на УДС города, удельный вес незарегистированных в городе легковых автомобилей, находящихся на его УДС, которые можно использовать при решении различных прогностических задач в автотранспортном комплексе.

В первую очередь, конечно, при разработке Генерального плана застройки городов, Транспортной схемы городов, в том числе при планировании строительства новых и реконструкций существующих автомобильных дорог, проектировании и строительстве гаражей, подземных, наземных многоуровневых автостоянок, планировании размещения административных, деловых, культурно-бытовых центров города; прогноз предполагаемого парка индивидуальных легковых автомобилей — важный аспект транспортного плана, поскольку объем автомобильных поездок и интенсивность уличного движения являются функцией этого показателя.

Также результаты прогноза необходимы при разработке программ регионального экологического регулирования (для сокращения загрязнения атмосферного воздуха необходимы меры по повышению скоростей и уменьшению времени задержек автомобилей; кроме того требуются мероприятия по снижению уровня шума в городах).

Кроме того, результаты моделирования полезны при оценке объема использования различных видов топлив, а также при разработке и обосновании программ по принуждению автовладельцев к использованию определенных видов топлив и видов автомобилей (например, сжиженного углеводородного (автомобильного) газа или альтернативных видов топлива вместо бензина, электромобилей вместо традиционных и т.п.).

Также разработанная программа может использоваться при обосновании экологических и экономических требований к характеристикам легковых автомобилей, обеспечивающих снижение выброса вредных газов и снижение расхода топлива.

Список литературы

1. *Захаров Н.С., Магарил Е.Р., Тюлькин В.А.* Обоснование наиболее экономичного и быстро осуществимого пути улучшения экологических и эксплуатационных характеристик автопарка [текст] // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. – №4. – С. 105-110.
2. *Персианов В.А., Мухаметдинов И.Б.* Транспортные проблемы Московской городской агломерации [текст] // Вестник транспорта. – 2006. – № 6. – С. 5 – 9.
3. *Zeiling Ralf E.* Perspektiven und Bilanz einer kunftigen Mobilitat [text] // Strasse und Verkehr. - 1988. - № 9. - S. 579 - 580.
4. *Jaranieé V.* Comment roulerous-nous dans les villes de-main? [text] // Environment, magazine. – 1993. - № 1517. - S. 24 – 35.
5. *Захаров Н.С.* Программа «REGRESS». Руководство пользователя [текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
6. *Захаров Н.С.* Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105-111.
7. *Шакиров И.Ф., Захаров Н.С.* Математические модели закономерностей влияния факторов на расход топлива специальных автомобилей аэропортов [Текст] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 368-370.

05.13.18

Н.М. Труфанова д.т.н., В.А. Будаян

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ КАБЕЛЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ ЧЕРЕЗ СТЕНУ ИЛИ ПЕРЕКРЫТИЕ

Работа посвящена математическому моделированию и численному исследованию процессов теплопроводности в кабельных линиях и окружающем пространстве при прокладке в зданиях и сооружениях. Определено влияние способов прокладки кабелей и используемых материалов на реализуемый температурный режим, токовою нагрузку и безопасность работы кабельной линии. Приведены практические рекомендации по рациональному использованию материалов заделки при прокладке кабелей через стены зданий.

Ключевые слова: *численный анализ, кабельная линия, способ прокладки, рабочая температур, допустимая нагрузка.*

При выборе способа прокладки и характеристик прокладываемого кабеля необходимо учитывать множество факторов: пожаробезопасность, химическая стойкость материалов кабеля к веществам применяемых в данном помещении, стойкость кабеля к излучениям, влажность воздуха и температура. Для выбора конкретного маркоразмера необходимо определиться с мощностью подключаемой нагрузки и проверить способность кабелей длительно пропускать токи без перегрева материала изоляции. Выбор сечения ТПЖ кабеля по ПУЭ или ГОСТу на кабель не позволяет учесть все условия, при которых кабель будет эксплуатироваться. Исследованию процессов теплопередачи в кабельных линиях посвящено большое число работ [1-3], в которых преимущественно рассматривается кабельные линии высокого напряжения, проложенные в земле или подземном канале. Целью математического моделирования и численного анализа процесса теплопроводности в кабельной линии и окружающей среде является определение необходимых условий эксплуатации кабелей с пластмассовой изоляцией, проложенных в зданиях и сооружениях. При прокладке кабельных линий производится проходка через стены и перекрытия зданий как при вводе в здание, так и при внутренней прокладке. Требования [4] к способам прокладки кабелей через стены и перекрытия определяют, что проход через стены должен быть выполнен с помощью асбестовых или пластмассовых труб, которые должны быть заделаны несгораемыми материалами.

Кабель, проходящий через стену или перекрытие, может занимать различные положения в трубе. Так на рис. 1 приведены два наиболее распространенных положения, когда кабель лежит на стенке трубы или он протянут по ее центру.

Заделка может быть выполнена с помощью различных смесей, состоящих из различных компонентов: цементом с песком по объему 1:10; глиной с песком - 1:3; глиной с цементом и песком - 1,5:1:11; перлитом вспученным со строительным гипсом - 1:2. Смесью полностью заполняется проход по всей толщине стены, перегородки или перекрытия [4].

Построение математической модели процесса теплопроводности многослойной конструкции кабель - стена (перекрытие) основано на законе сохранения энергии [5] . Были сделаны следующее допущения: процесс стационарный; задача плоская, передачи тепла по оси Z не происходит; свойства материалов постоянны. Исследуемая область представлена на рис.1.

Процесс теплопроводности описывается следующими уравнениями [5]:

$$\lambda_i * \Delta T = 0 \quad (1)$$

$$\lambda_{из} * \Delta T + q_v = 0 \quad (2)$$

где λ_i – материалов заделки, трубы, стены; $\lambda_{из}$ – теплопроводность материала изоляции. Внутренний источник тепла, обусловленный протеканием электрического тока, определяется как:

$$q_v = \frac{P}{V} = \frac{I^2 R}{S * l} = \frac{I^2 \rho \frac{l}{S}}{S * l} = \frac{I^2 \rho}{S^2} \qquad (3)$$

Граничные условия: градиент температуры на границе расчетной области равен нулю, а температура в центре кабеля максимальна.

$$\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=R} = 0 \qquad \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=0} = 0 \qquad (4)$$

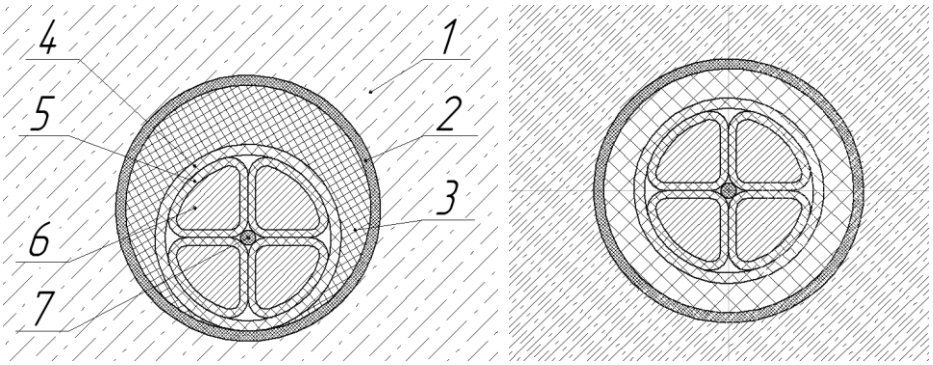


Рис. 1. Проход кабеля АВВГ 4х120 через стены или перекрытия:
1-стена или перекрытие, 2- труба, 3- заделка, 4- оболочка кабеля, 5- изоляция, 6 - токопроводящая жила, 7 - кордель.

Реализации математической модели (1)-(4) осуществлялась с помощью метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS. Размеры элементов кабеля ВВГнг 4х1,5 соответствуют государственному стандарту [6]. Дискретизация задачи осуществлялась четырехугольными элементами. Сходимость обеспечивалась использованием 200000 элементов и 150 итераций.

В результате решения были получены поля температур в кабеле и окружающем пространстве при заданных значениях токовой нагрузки для различных вариантах прокладки. Характерное поле температур для симметричного и асимметричного расположения кабеля в трубе заделки представлено на рис. 2. При симметричной прокладке кабеля происходит равномерное распределение температур, максимальная температура токопроводящих жил и изоляции ниже, чем при ассиметричной на 5-10 ^{o}C. В обоих случаях прокладки максимальная температура не превышает допустимую.

Результаты расчета процесса теплопередачи, при использовании различных материалов заделки приведены на рис. 2 и рис. 3. Из рисунков видно, что в случае использования в качестве заполнения материалов с низким значением коэффициента теплопроводности, в частности - пенопласт, рис.3, максимальная температура существенно возрастает (более, чем на 50 ^{0} C), что не допустимо.

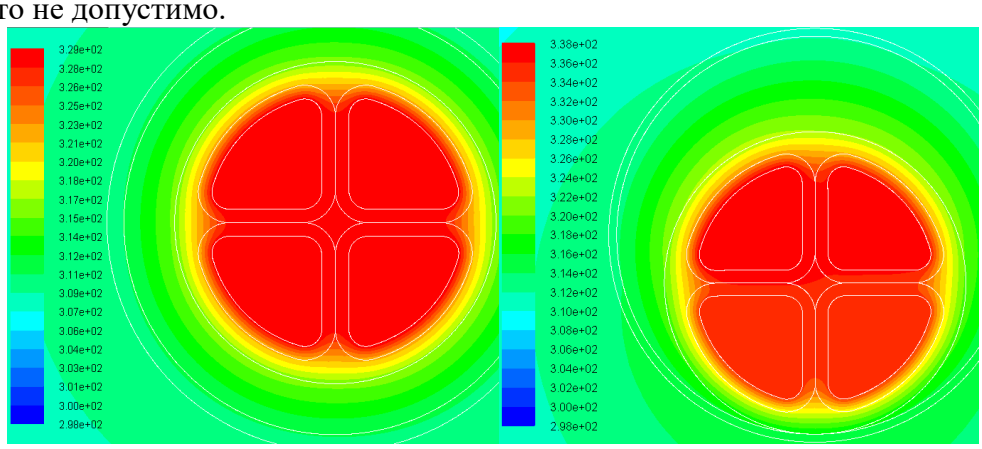


Рис. 2. Температурные поля: ток 244 А, заделка - смесь №1

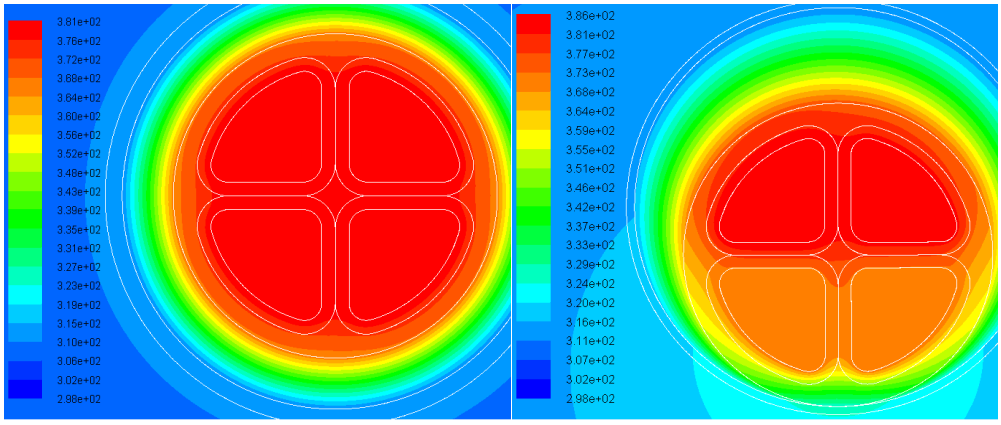


Рис. 3. Температурные поля: ток 244 А, заделка - пенопласт

Зависимость максимальной температуры на поверхности токопроводящих жил от значения тока для различных материалов заделки, при ассиметричной и симметричной прокладке приведена рис. 4. Номинальным значением тока для этой марки кабеля является 244 А, а допустимой температурой - 70 °С. При использовании для заделки негорючих материалов (различные смеси), применение которых предусмотрено строительными нормами и правилами, температура изоляции в зависимости от расположения кабеля достигает значений от 54 до 68 °С, оставаясь в пределах допустимой. В этом случае применение смесей оговоренных в нормативных документах обеспечивает соблюдение требуемого температурного режима эксплуатации изоляции кабеля. Обеспечивается долговечность и нормативный срок службы кабеля.

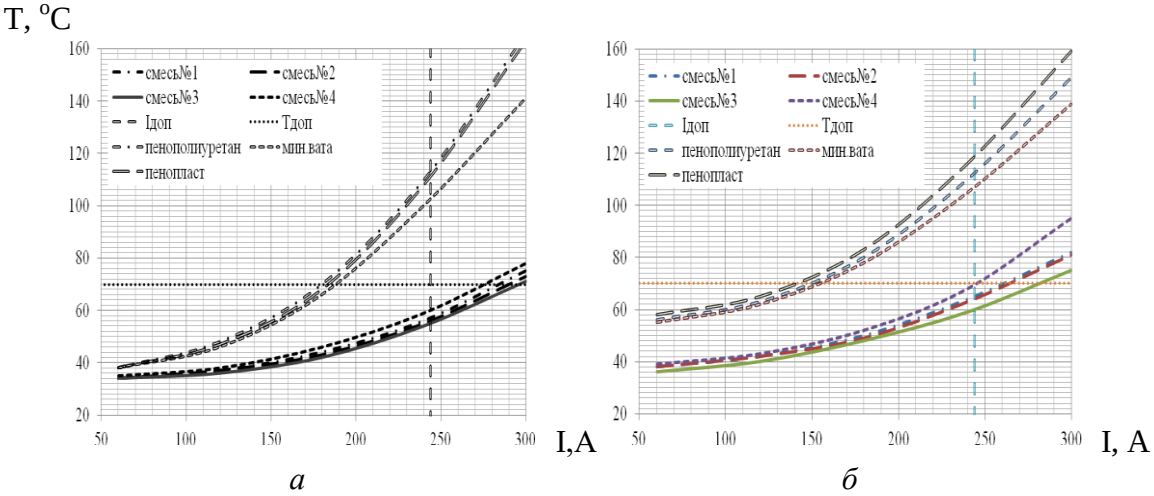


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры от величины тока при *а*- симметричном расположении кабеля, *б* -несимметричном.

При использовании в качестве материала для заделки пенополиуретана, пенопласта или минеральной ваты температура токопроводящих жил превышает 100 °С и может достигать 116 °С. При максимально допустимой температуре для поливинилхлоридной изоляции 70 °С повышение температуры приводит к преждевременному старению, образованию дефектов, размягчению, потере механических и электрических свойств. При длительном перегреве изоляции происходит ее ускоренное окисление, изменяется цвет, изоляция теряет пластичность и становится хрупкой.

Из рис. 4 видно, что кабели проложены с нарушениями нормативных условий прокладки могут эксплуатировать только с пониженной токовой нагрузкой. В рассмотренных случаях необходимо снижать токовую нагрузку до 50% от длительно допустимой (130-170 А в место 244 А).

Таким образом, можно констатировать тот факт, что материалы, используемые в заделке при прокладке кабелей, существенно влияют на температурный режим работы кабельных линий и в значительной степени определяют безопасность их работы.

Список литературы

1. *Hwang C.C., Chang J.J., Chen H.Y.* Calculation of ampacities for cables in trays using finite elements // Electric Power Systems Research. 2000. V. 54. P. 75–81.
2. *Liu Y., Phan-Thien R., Kemp R.* Coupled conduction-convection problem for an underground duct containing eight insulated cables // International Journal of Computational Engineering Science. 2000. V. 1. No. 2. P. 187–206.
3. *Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю.* Математическое моделирование и управление пропускной способностью кабельных линий в подземном канале // Электротехника. – 2012. №11. С. 11–14.
4. СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства.
5. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: «Энергия», 1975. - 488 с.
6. ГОСТ Р 53769-2010 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ.

05.13.01

И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко д.т.н., М.Н. Терентьев к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», кафедра «Прикладная информатика»,
Москва, iliagi@mail.ru, snp_609@mai.ru, m-te@yandex.ru

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПЫТАНИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С АВТОНОМНЫМ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕМ

Рассматривается концепция систем дистанционного мониторинга, соответствующая современным требованиям производства и испытаний аэрокосмической техники, а именно: установка датчиков и исполнительных устройств в труднодоступных произвольных местах объектов обслуживания, отказоустойчивость в условиях нестационарных помех, а также возможность удаленного доступа к текущим измерениям с широкого спектра клиентских устройств. В основе предложенной концепции лежит синергетическое использование многошлюзовой беспроводной сенсорной сети, обеспечивающей отказоустойчивую связь с датчиками и исполнительными устройствами, и автономного веб-приложения, обеспечивающего отказоустойчивую связь с центрами хранения и обработки данных мониторинга и управление измерениями с разнообразных терминальных устройств.

Ключевые слова: *беспроводные сенсорные сети, распределенные системы дистанционного мониторинга, отказоустойчивые системы мониторинга, автономные веб-приложения.*

Введение. Современные системы управления производством и испытаниями аэрокосмической техники предъявляют повышенные требования к наблюдаемости управляемых ими процессов. Соответствующие этим требованиям системы мониторинга должны обеспечивать одновременное отслеживание разнообразия процессов при достаточно резком увеличении количества измеряемых параметров и необходимости установки датчиков в труднодоступных местах. При этом объекты мониторинга, а также центры сбора, хранения и обработки информации все больше имеют распределенный характер, а управление ведется в удаленном режиме. Данные обстоятельства определили актуальность создания распределенных систем дистанционного мониторинга (СДМ).

В работе [1] показана перспективность решения задачи мониторинга космических систем на основе беспроводных сенсорных сетей (БСС), которые хорошо учитывают: подвижность элементов с установленными датчиками; изменение конфигурации объекта во времени; невозможность использования проводов; невозможность использования внешнего питания; необходимость быстрого развертывания СДМ; необходимость использования разнообразных датчиков и исполнительных устройств; открытость СДМ как возможность её свободного расширения. При этом решаются проблемы обеспечения: питания датчиков; отказоустойчивой связи между датчиками и сервером управления; доступа имеющихся клиентских терминальных устройств; возможности автономной работы клиента с полученными данными; уменьшения: времени установки БСС и стоимости внедрения.

В работе [2] предложена концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов, которая в применении к созданию СДМ в состоянии обеспечить отказоустойчивую связь с центрами хранения и обработки данных мониторинга и управление измерениями с разнообразных терминальных устройств.

В настоящей работе предложена концепция СДМ производства и испытаний аэрокосмической техники как развитие результатов названных работ.

Для определения места СДМ предложенной концепции рассмотрим кратко этапы развития БСС.

БСС со специализированным программным обеспечением (ПО) для персонального компьютера (ПК) – устройство управления, подключаемое к ПК, собирает информацию напрямую с БСС и отображает ее пользователю ПК посредством ПО. Требует непосредственной близости расположения управляющего ПК к БСС для получения данных (из-за ограничений по дальности). Возможна автономная работа с данными БСС.

БСС с традиционным веб-приложением – в отличие от предыдущего, управляющий ПК работает в режиме веб-сервера и позволяет подключаться удаленным пользователям с помощью различных терминальных устройств. Однако, сама БСС не может состоять из территориально удаленных сегментов из-за ограничений по дальности. Данные БСС недоступны пользователям без подключения к серверу.

Многошлюзовая БСС с традиционным веб-приложением – в отличие от предыдущего, появляется возможность создания единой БСС из территориально удаленных сегментов. БСС передает данные не на управляющий ПК, а на веб-сервер управления, который может находиться вдали от самой БСС. Сервер может обслуживать несколько разных БСС. Данные БСС недоступны пользователям без подключения к серверу.

И, наконец, системы предлагаемой концепции.

Многошлюзовая БСС с автономным веб-приложением (АВП) – в отличие от предыдущего, использование АВП [2] делает возможным автономную работу пользователя с данными БСС, загруженными с сервера. Многошлюзовые БСС с АВП позволяют решить проблемы мониторинга объектов обслуживания различных конфигураций, в том числе с непостоянными, изменяющимися во времени конфигурациями и обеспечить доступность полученной информации.

СДМ на базе БСС предлагаемой концепции позволяют не только собирать и передавать на сервер управления данные с датчиков мониторинга, но и передавать поступающие команды на исполнительные устройства (или давать их самостоятельно на основе данных мониторинга).

Использование многошлюзовой конфигурации БСС позволяет: уменьшить количество узлов сети за счет отказа от лишних маршрутизаторов в пользу шлюзов; повысить отказоустойчивость передачи данных за счет добавления дополнительных шлюзов; использовать публичные каналы передачи данных; реализовывать единые территориально распределенные БСС с множеством сегментов и единым сервером управления; адаптироваться к изменениям конфигурации объекта обслуживания.

Монтаж узлов БСС возможен даже в условиях полного отсутствия внешнего питания, так как все узлы сети могут иметь встроенное питание, которого хватает на месяцы бесперебойной работы [1].

Поскольку используемые радиоканалы подвержены влиянию радиопомех, то для обеспечения отказоустойчивой связи между конечными узлами БСС и сервером управления используется либо несколько маршрутизаторов, которые обеспечивают различные маршруты прохождения сигнала к шлюзу, соединяющемуся с сервером через публичные каналы связи, либо добавляются дополнительные шлюзы [3, 4].

Использование дополнительных шлюзов также позволяет увеличить общую пропускную способность БСС за счет уменьшения трафика ретрансляции.

Для обеспечения централизованного сбора, хранения, обработки информации системы дистанционного мониторинга на базе многошлюзовой БСС и обеспечения доступа к этой информации различных имеющихся клиентских терминальных устройств, включая мобильные, используется веб-сервер управления с базой данных и АВП.

Использование АВП позволяет обеспечить всем потребителям информации СДМ единую среду для работы с данными мониторинга, а также, в отличие от традиционных веб-приложений, возможность автономной работы с полученными с сервера данными даже в случае сбоя или отсутствия соединения с сервером.

В случае использования многошлюзовой БСС для управления исполнительными устройствами АВП позволяет повысить отказоустойчивость передачи команд за счет резервирования всех вводимых пользователем данных [5]. Схема БСС с АВП, работающей с беспроводными и проводными клиентами, показана на рисунке 1.

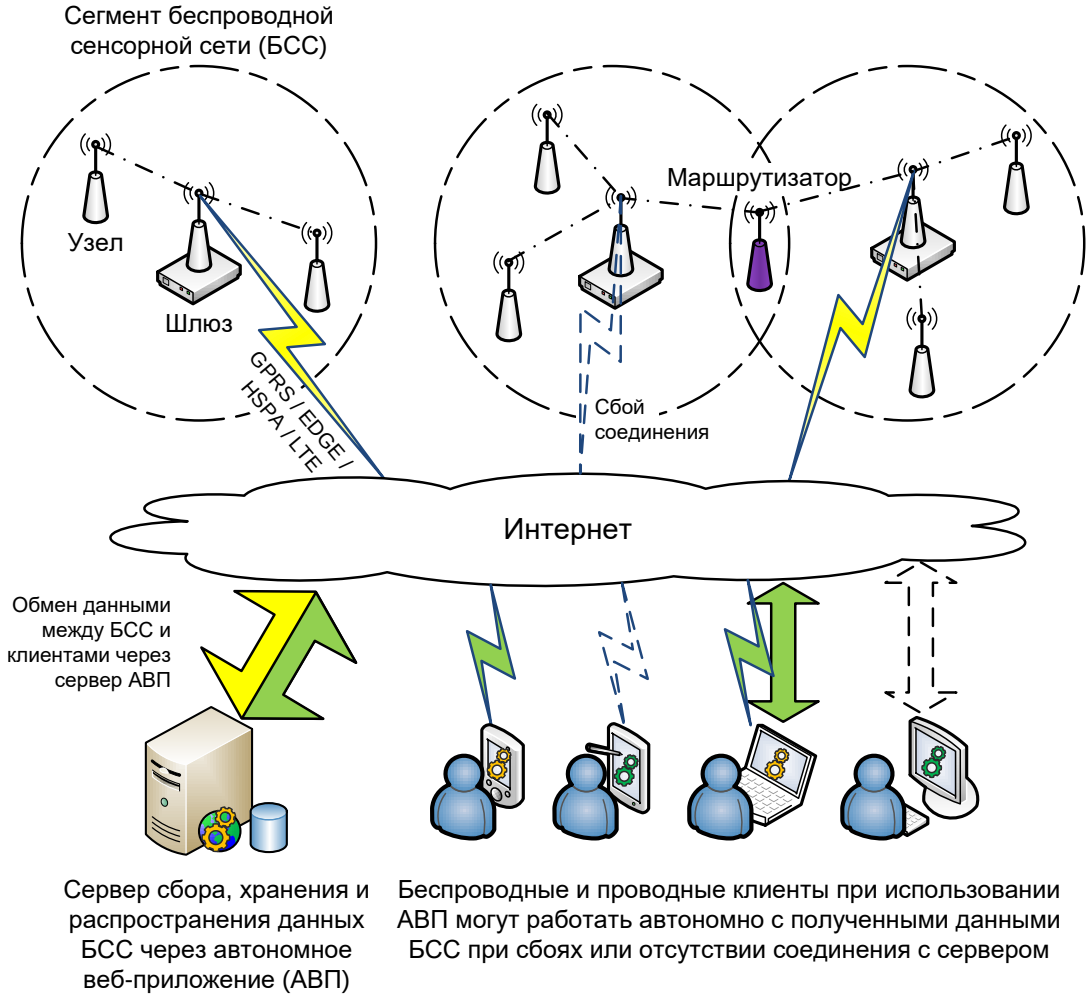


Рис. 1 – Общая схема многошлюзовой БСС с АВП

Согласно предложенной схеме, веб-сервер управления получает данные от шлюзов сегментов БСС и сохраняет их в общую базу данных мониторинга объекта обслуживания. Клиенты с веб-браузером обращаются к веб-серверу для получения доступа к собранным БСС данным. Использование многошлюзовой БСС совместно с АВП позволяет обеспечить отказоустойчивый удаленный доступ к данным мониторинга объекта обслуживания, включающий в себя возможность полностью автономной работы с полученными с сервера данными и резервирование вводимых данных, для пользователей различных стационарных и мобильных терминальных устройств с веб-браузером. Это стало возможным благодаря клиентским и серверным компонентам АВП [5], построенным на базе технологий стандарта HTML5 [6]: Application Cache – для постоянного хранения на стороне клиента данных получаемых с сервера и обеспечения автономного доступа к ним при отсутствии соединения с сервером; Local Storage – для резервирования на стороне клиента вводимых пользователем данных до подтверждения их доставки на сервер.

Заключение. Таким образом, предложенная концепция построения СДМ на основе многошлюзовых БСС с АВП обеспечивает: повышение отказоустойчивости СДМ; уменьшение необходимого количества узлов БСС для обеспечения функционирования системы мониторинга; расширение парка возможных терминальных устройств и возможность работы с данными системы мониторинга в автономном режиме.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-08-01028а.

Список литературы

1. *Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Автоматизированное проектирование адаптивных дискретных беспроводных сенсорных сетей для космических систем. – Москва: Изд-во МАИ, 2013. – 128 с.

2. *Гинзбург И.Б.* Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов. – Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – №5, С. 159-161.

3. *Махорин А.О., Падалко С.Н., Терентьев М.Н.* Постановка задачи оптимизации параметров процедуры смены роли узлов многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе. – Научно-технический вестник Поволжья.– Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – № 5, С. 260-263.

4. *Махорин А. О., Падалко С. Н., Терентьев М. Н.* Математическая модель многошлюзовой беспроводной самоорганизующейся сети произвольной топологии в аэрокосмической системе. – Вестник компьютерных и информационных технологий. – Москва: ООО "Издательский дом "Спектр", 2015. – № 3, С. 28-32.

5. *Гинзбург, И.Б.* Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники. – Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – №6, С. 130-133.

6. HTML5. A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML. W3C Recommendation 28 October 2014 / Editors: I. Hickson, R. Berjon, S. Faulkner, T. Leithead, E. Doyle Navara, E. O'Connor, S. Pfeiffer // Веб-сайт W3C. URL: http://www.w3.org/TR/html5/ (дата обращения 30.10.2014)

05.22.19

А.А. Ершов д.т.н., А.В. Теренчук

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова, факультет навигации и связи, кафедра маневрирование и управление судном, Санкт-Петербург, ershov_63@mail.ru

СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ШТОРМОВОГО ПЛАВАНИЯ СУДНА

В работе рассматривается использование специально рассчитанных круговых диаграмм для определения опасных параметров качки, а также других элементов, влияющих на мореходность судна в условиях шторма, которое дает возможность автоматизировать обеспечение безопасности штормового плавания.

Ключевые слова: *штормовое плавание судов, круговые диаграммы, способы автоматизации.*

В настоящее время, абсолютное большинство аварий судов происходит в условиях штормового плавания. Такие крупные морские катастрофы, как гибель платформы «Кольская», при которой погибли 57 человек исчезновение со всем экипажем траулера «Аметист» и сухогруза «Капитан Усков», гибель теплохода «Булгария», а также многие другие аварии произошли в условиях штормового плавания. Все это свидетельствует о том, что в настоящий момент вопросы безопасности штормового плавания и сохранения мореходных качеств в условиях шторма чрезвычайно актуальны.

Существующие суда оснащены современными приборами и системами контроля движения судна, решения задач навигации и предупреждения столкновений, а также других задач обеспечения безопасности. Тем не менее, проблемы штормового плавания до сих пор решаются на номограммах, разработанных еще в Советском Союзе, либо не решаются вовсе, т.к. это часто не требуется в соответствии с обязательными международными нормами. Как следствие данной ситуации, количество катастроф и аварий в штормовых условиях не уменьшается.

В этих условиях представляется целесообразным разработка новых видов информации для судоводителя, которые позволяли бы решать задачи безопасности штормового плавания применительно к современным навигационным приборам и современным технологиям отображения информации, используемых на современных судах. Особенно важной эта информация может оказаться при планировании перехода в условиях предстоящего шторма.

Полученные гидрометеорологические данные о шторме в настоящий момент могут быть проложены на электронной карте автоматически, при использовании ЭКНИС – специальной навигационной аппаратуры, совмещающей навигационную информацию, а также данные о других объектах и опасностях, позволяющей вести обработку данных и контроль за движением судна в автоматическом режиме. В настоящее время все больше судов оборудуется ЭКНИС, а в соответствии с существующими требованиями к 2018 году все суда будут обязаны иметь на борту ЭКНИС.

На практике, судам приходится не просто изменять курс, иногда необходимо внести серьезные изменения в запланированный маршрут, с тем, чтобы безопасно разойтись с такими опасными явлениями как тропический шторм. На Рис.1 видно как судно, следующее на российские порты Дальнего Востока, получает информацию о надвигающемся шторме Кросса.

При прокладке, полученной информации на электронной карте ЭКНИС, становится видно, что судно попадет в центр шторма Кросса (см. Рис.1), что может быть чрезвычайно опасно для судна. Необходимо определить маневры судна, которые позволят избежать потери мореходных качеств в условиях предстоящего штормового плавания.

Шторм Кросса на предварительной прокладке электронной карты

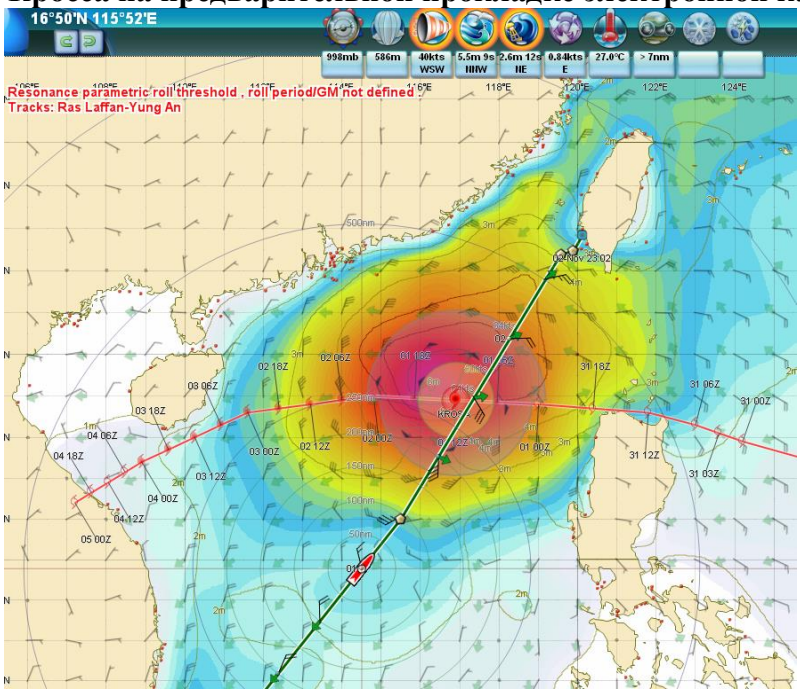


Рис.1.

Для решения этой задачи могут быть использованы специально рассчитываемые, периодически обновляемые и отображаемые на электронной картографической информации ЭКНИС круговые диаграммы. На данных диаграммах может отображаться актуальная информация с целью обеспечения мореходных качеств судна в условиях предстоящего шторма.

Практика показывает, что наиболее актуальной для судоводителя информацией о мореходных качествах судна на различных курсовых углах волнения в условиях шторма (КУВ) являются расчетные данные о предстоящих углах крена (амплитуде) бортовой качки.

Пример такой круговой диаграммы для данной высоты волны и конкретного судна представлен на Рис. 2. На данном рисунке представлена круговая диаграмма для данной высоты волны (4 м) и конкретного судна. На диаграмме заштрихованные зоны курсовых углов волнения соответствуют опасной (чрезмерной) амплитуде бортовой качки для данного судна. Значения амплитуд предстоящей бортовой качки также представлены на круговой диаграмме (см. Рис.2).

Круговая диаграмма углов крена на качке (амплитуды бортовой качки) при различных курсовых углах волнения

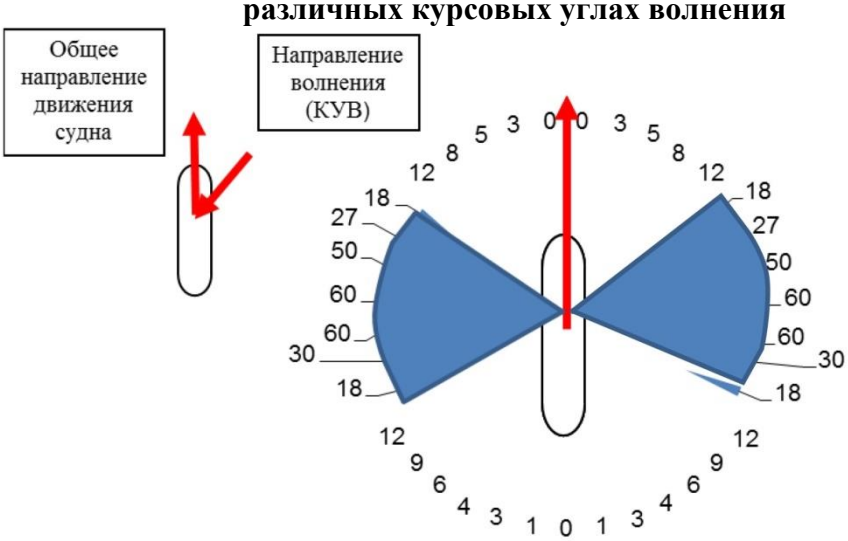
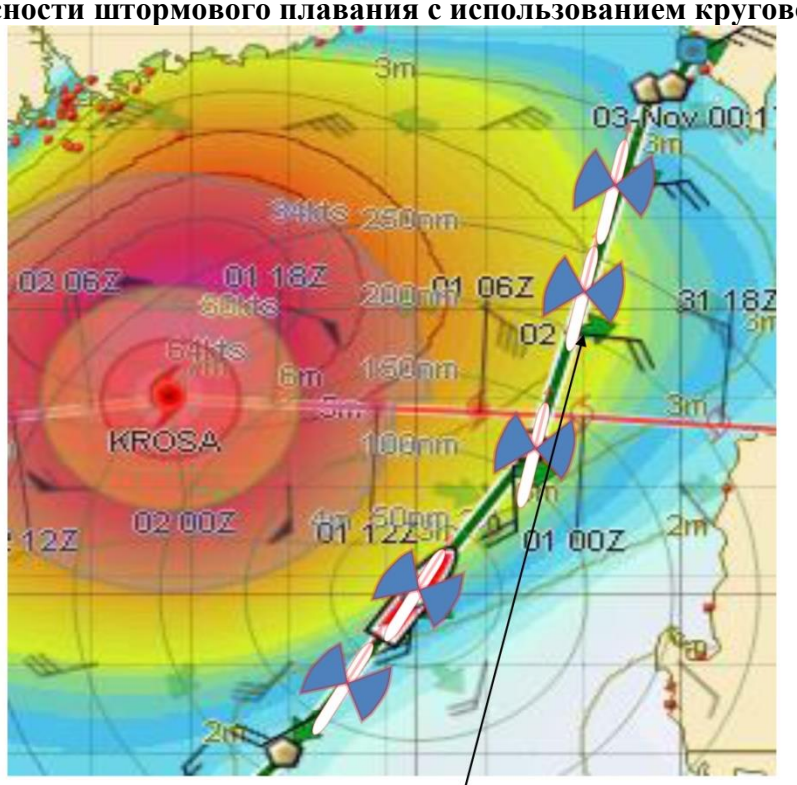


Рис.2.

Для расчета параметров круговой диаграммы могут быть использованы работы [1],[2].Использование круговой диаграммы вместе с данными о предварительной прокладке предстоящего перехода судна и предстоящем шторме может быть произведено следующим образом (см. Рис.3).На предварительной прокладке движения судна при предстоящем расхождении со штормом Кросса откладываются рассчитанные круговые диаграммы для данной высоты волны, которая соответствует предстоящему шторму. По данным о ветре и волнении предстоящего шторма (см.Рис.1) определяется, попадаются ли предстоящие ветер (волнение) в опасные зоны на круговой диаграмме (см.Рис.3).

Контроль безопасности штормового плавания с использованием круговой диаграммы



Предстоящие ветер и волнение попадают в опасную зону для судна на круговой диаграмме
Точка изменения курса судна на новый курс. Точка контроля перемещения шторма Кросса, а также нового расчета и перестроения круговой диаграммы.

Рис.3

На основании данных о попадании предстоящего ветра и волнения в опасную или безопасную зону выбирается безопасный курс для предстоящего расхождения со штормом Кросса.

На основании приведенного примера видно, что использование круговых диаграмм позволяет усовершенствовать и автоматизировать процедуру обеспечения безопасности штормового плавания и будет способствовать развитию перспективной навигационной аппаратуры ЭКНИС, позволяя решать данные задачи в автоматическом режиме. Это позволит снизить роль человеческого фактора как основного источника ошибок, приводящих к авариям в условиях штормового плавания.

Данный подход позволяет автоматизировать процесс выбора безопасного курса и скорости судна в шторм, а также решения других задач обеспечения безопасности штормового плавания.

Список литературы

1.*Ю.В.Ремез*. Качка корабля. Л.: Судостроение, 1983 г, 322 с.
2.*А.А.Ершов* Поддержание мореходных качеств в аварийных ситуациях. Тез.док. научн.-техн. конф. Проф.-преп. с-ва и научн. сотр. ГМА им.адм С.О.Макарова, 2001 г.

05.22.19

А.А. Ершов д.т.н., Д.А. Хухарев

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова, факультет навигации и связи, кафедра маневрирование и управление судном, Санкт-Петербург, ershov_63@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ШВАРТОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ

В работе рассматривается использование специально рассчитанных планшетов управления судном для обеспечения безопасности и эффективности швартовных операций одновинтовых судов в российских портах.

Ключевые слова. *Планшеты управления судном. Швартовые операции. Безопасность и эффективность. Одновинтовые суда.*

Решение проблемы повышения эффективности работы российского флота невозможно без обеспечения безопасности всех судов посещающих российские порты. Одним из наиболее ответственных этапов маневрирования судна при подходе и отходе от причала является швартовка судна. В работе [1] было предложено для повышения эффективности и безопасности швартовных операций разрабатывать специальные планшеты управления судном, которые позволяют облегчить осуществление швартовных операций, а в перспективе могут стать основной системы автоматической швартовки судна. В работе [1] приведен пример расчета планшета управления судном двухвинтового судна, оборудованного винтами регулируемого шага и носовым подруливающим устройством.

Большинство судов, посещающие российские порты оборудованы одним винтом, т.е. является одновинтовыми. Одновинтовое судно с носовым подруливающим устройством обладает меньшими возможностями, чем двухвинтовое по осуществлению безопасного сближения с причалом, за счет невозможности создать дополнительный разворачивающий момент работой гребных винтов «враздрай» и большой зависимостью силы на руле судна от работы гребного винта на малых скоростях движения судна. Как следствие, именно для таких судов наиболее актуально создание планшетов управления судном. Схема сил для предварительного расчета планшета управления одновинтового судна с носовым подруливающим устройством представлена на Рис.1.

Схема сил для расчета планшета управления судном одновинтового судна

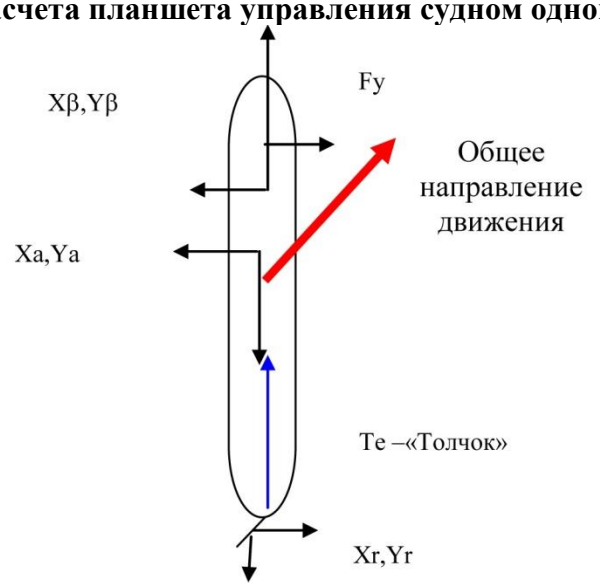


Рис.1.

Для создания необходимой силы на руле одновинтового судна и обеспечения движения с углом дрейфа при сближении с причалом на малых скоростях необходим поток воды, который должен образовываться гребным винтом. При этом скорость движения судна в продольном направлении не должна увеличиваться, а поток за гребным винтом должен создаваться без значительного увеличения тяги винта (Te). Это необходимо для обеспечения минимальной продольной скорости судна и возможности движения с большим углом дрейфа по направлению к причалу или от него.

Такой режим работы гребного винта может создавать лишь в так называемом «толчковом» режиме, когда судоводитель кратковременно переводит рукоятку управления двигателем в положение СМПХ, МПХ, СПХ, создавая необходимый поток гребным винтом.

При этом, за столь короткое время не создается значительный упор и тяга гребного винта. Как следствие увеличение скорости движения судна в продольном направлении незначительно. Переложив руль и работая носовым подруливающим устройством, судоводитель может сближаться с причалом с большим углом дрейфа (углом сближения судна с причалом).

Система уравнений движения судна в соответствии с Рис.1 будет иметь следующий вид

$$\begin{cases} Te = Xa - X\beta - Xr \\ Fy = Ya + Y\beta - Yr \\ Yr = (Fy \cdot xf - Ma - M\beta)/lrm, \end{cases} \qquad (1)$$

где

$Y\beta$ - проекция гидродинамической силы на ось Y с учетом влияния мелководья и эффекта канала, кН; $X\beta$ - проекция гидродинамической силы на ось X с учетом влияния мелководья и эффекта канала, кН;Ya – проекция аэродинамической силы на ось Y, кН; Xa – проекция аэродинамической силы на ось X, кН;Yr – проекция боковой силы на руле на ось Y, кН; $M\beta$ и Ma – моменты гидро- и аэродинамических сил (момент гидродинамических сил рассчитывается с учетом влияния мелководья и эффекта канала), кН·м;Te – тяга гребного винта, кН; Fy – тяга подруливающего устройства судна, кН; xf расстояние от центра тяжести судна до подруливающего устройства, м; lrm - расстояние от центра тяжести судна до руля, м.

В системе уравнений (1) необходимая винта определяется постоянная тяга гребного винта из условий равновесия судна. В «толчковом» режиме необходимая тяга гребного винта определяется в зависимости от потребной силы на руле, исходя из третьего уравнения системы (1).

Поскольку необходимая тяга винта является функцией от силы на руле, которая способная создавать необходимый разворачивающий момент, то ее величина в режиме «толчок» может быть получена в долях от силы на руле или в виде

$$Te = Yr/k, \qquad (2)$$

где k рассчитывается по методике, предложенной в [2].

Для того, чтобы использовать выражение (2) при предварительном расчете параметров планшета управления одновинтового судна необходимо, чтобы угол перекладки руля в расчетах был постоянным.

Раскрывая выражения, входящие в систему (1) по аналогии с [1] получаем конечные выражения для расчета диаграммы управления судном при швартовке одновинтового судна в зависимости от времени t (текущие значения входящих в уравнение величин).

Из Рис.1 и системы уравнений (1) следует, что расчет и построение планшета управления одновинтового судна с носовым подруливающим устройством целесообразно проводить лишь для носовых курсовых углов, когда работа гребного винта в «толчковом» режиме и угол перекладки руля могут обеспечить равновесие судна и его подход к причалу.

При работе винта на задний ход гидродинамическая картина взаимодействия винта, руля и корпуса судна резко изменяется. Струя от гребного винта, при работе на задний ход направлена не на руль, а в сторону корпуса судна. При этом, вступая во взаимодействие с корпусом судна, струя винта одновинтового судна стремится создать на корпусе нагрузку,

которая уваливает корму судна в левую сторону. Эта закономерность обусловлена гидродинамической картиной обтекания кормовой оконечности судна [2]. Это делает одновинтовое судно на заднем ходу практически неуправляемым при сближении с причалом. Пример планшета управления одновинтового судна в соответствии с выражениями (1,2) представлены на Рис.2.

Планшет управления одновинтового судна с носовым подруливающим устройством

Рис.2.

Результаты расчета на Рис.2 наглядно показывают ограничения, которые имеет одновинтовое судно при самостоятельной швартовке к причалу. Эффективное самостоятельное сближение судна с причалом возможно только при подходе судна к причалу с носовыми углами дрейфа и на ограниченных скоростях. В случае отсутствия у судна носового подруливающего устройства аналогичные расчеты могут быть произведены для использования носового буксира при его постановке у носа судна во время осуществления швартовных операций.

Разработка подобных планшетов управления судном может стать основой разработки схем маневрирования при швартовках различных судов, посещающих данных порт и дающих администрациям портов повышать эффективность судоходства, а также планировать развитие порта, исходя из возможностей конкретных судов по осуществлению швартовных операций.

В перспективе подобные планшеты могут стать основой систем автоматической швартовки и отшвартовки судов в различных условиях плавания.

Список литературы

1.*Ершов А.А., Хухарев Д.А.* Совершенствование управления судном при швартовках. Научно-технический Вестник Поволжья.- 2015.- № 3-С.132-134.

2.*Ершов А.А.* Реверс и маневрирование при реверсе судна с винтом регулируемого шага на ограниченных акваториях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ГМА им.адм. С. О. Макарова. 1989, 186 с.

05.13.10

А.В. Иващенко, М.В. Фролова

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет) г. Самара, anton.ivashenko@gmail.com
Тольяттинская академия управления, г. Тольятти, mfrolova.ru@gmail.com

БИЗНЕС-СИМУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье предлагается концепция и технология построения программного обеспечения бизнес-симулятора для решения задачи управления взаимодействием членов кросс-функциональных команд с учетом человеческого фактора.

Ключевые слова: *управление, организация, подготовка персонала, бизнес-симулятор, электронный университет.*

Введение

Кадровое обеспечение является ключевым для активного становления и развития компаний, невозможно ничего предпринять и сделать без человеческих ресурсов. Для того, чтобы обеспечить движение вперед, необходимы конкурентоспособные кадры. Ключевым аспектом сегодняшнего дня с одной стороны является наличие в компании на ключевых позициях необходимого числа специалистов с требуемыми компетенциями, с другой стороны особенно актуальна проблема организации их эффективного взаимодействия. Выдающихся результатов, прорывных разработок можно достичь только в результате налаженной командной работы. Однако организация такой работы, управления взаимодействием членов команды является актуальной задачей.

В настоящее время на практике широко применяются кросс-функциональные команды [1], представляющие собой временные или постоянно организованные группы сотрудников различных функциональных департаментов организации, сконцентрированных на решении конкретной проблемы. Взаимодействие членов такой команды направлено не только на решение текущих задач, но и на накопление опыта, который впоследствии будет использован для повышения эффективности управления организацией.

Такая разноплановая нацеленность кросс-функциональной команды обуславливает сложность ее построения – необходимо собрать в единый коллектив профессионалов высокой квалификации, но разной специализации, способных эффективно взаимодействовать для достижения общих целей. Научить такому взаимодействию с использованием традиционных образовательных технологий сложно, равно как и управлять этим взаимодействием в режиме реального времени. Данная проблема отражается в известных работах по менеджменту [2] и требует новых решений.

В данной статье предлагается одно из возможных решений, основанное на применении современных информационных технологий для формализации и внедрения шаблонов (паттернов) эффективного взаимодействия при организации и управлении кросс-функциональной командой.

Технологии управления персоналом организации

Ряд комплексных исследований и работ российских и зарубежных ученых и управленцев-практиков посвящен вопросу организации коллективного мышления и деятельности, направленной на решение сложных междисциплинарных, производственных, научно-технических и оргуправленческих проблем, разработке методологии.

Г.П. Щедровицкий, А.А. Зиновьев, Б.А. Грушин, М.Б. Мамардашвилли в 50-х гг прошлого века связывали разработку методологии с детальным исследованием мышления и деятельности людей [3 – 5]. Г.П. Щедровицкий рассматривал мышление как имманентную систему, развертывающуюся по четким правилам, оргуправленческий тип мышления выносил как отдельный подвид с присущими ему правилами и принципами. Самоопределение, знание основных законов, определяющих мышление людей и их

деятельность рассматриваются как необходимое для планирования и осуществления действия по отношению других людей.

Школой Г.П. Щедровицкого предложен системомыследеятельностный подход к анализу широкого спектра явлений, разработан новый инструмент для анализа и развития различных программ, проектов, организаций – организационно-деятельностных игр, разобраны особенности проектного мышления и проектной деятельности и предложены технологии по постановлению необходимых компетенций. Оргуправление рассматривается как социотехническая деятельность, требующая определенных знаний об объектах для применения соответствующих ситуации способов организации, руководства и управления.

С другой стороны, широко известны теории и методы управления в организационных системах, предложенные в рамках научной школы В.Н. Буркова, Д.А. Новикова [6 – 8] и основанные на математическом моделировании процедур принятия управленческих решений. В этом контексте можно предложить рассмотрение кросс-функциональной команды как активной организационной системы, в которой в существенной степени учитывается наличие несовпадающих интересов у субъектов управления (агентов) и их активное поведение.

Практические аспекты применения модели управления кросс-функциональными командами и технологии обеспечения эффективного внутреннего взаимодействия представлены в работе [1], где описывается результаты, полученные Альянсом Renault-Nissan от внедрения программы возрождения «Ниссана» (Nissan Revival Plan). Здесь кросс-функциональные команды (cross-functional teams) выступили не только в качестве инструмента разработки данного плана, но и стали залогом его успешного выполнения, так как люди, входящие в состав команд, несли ответственность как за процесс разработки плана, так и за его последующую реализацию.

Модель кросс-функционального взаимодействия

Опишем кросс-функциональное взаимодействие на основе многоакторной модели [9, 10]. Представим участников кросс-функциональной команды в виде *акторов* $u_i, i = 1..N_u$, обладающих определенными навыками – *компетенциями* s_m. Факт обладания каждым навыком определим, как булеву переменную:

$$h_{i,m} = h(u_i, s_m) = \{0, 1\}. \quad (1)$$

Взаимодействие акторов между собой фиксируется в виде контрактных отношений – *связей*:

$$c_{i,j} = c(u_i, u_j) = \{0, 1\}. \quad (2)$$

Процесс взаимодействия u_i и u_j может быть описан с помощью *событий* типа запрос-ответ:

$$e_{i,j,k} = e(u_i, u_j, v_k, t_k) = \{0, 1\}. \quad (3)$$

где v_k – передаваемое сообщение, t_k – время возникновения события.

Отметим, что, если взаимодействие осуществляется в едином информационном пространстве с использованием информационных систем, отследить события взаимодействия можно автоматически.

Таким образом, необходимо в кросс-функциональной команде выстроить такие отношения, которые соответствовали бы возникающим в результате взаимодействия событиям. Следовательно, для эффективной команды можно задать шаблон – паттерн взаимодействия в виде:

$$G_l = \{g_{l,n}(c_{i,j}, t_{l,n}, t'_{l,n})\}, \quad (4)$$

который задает последовательность ожидаемых в период времени $(t_{l,n}, t'_{l,n})$ актов взаимодействия по отношениям $c_{i,j}$, возникающих в ходе функционирования команды.

Организация и управление кросс-функциональным взаимодействием

Оставим за рамками предлагаемой формализации проблему оценки эффективности работы команды, в данном контексте достаточно определять ее с помощью эксперта. Однако, если будет определен факт удачного взаимодействия в кросс-функциональной команде, оно может быть зафиксировано в виде шаблона G_l и впоследствии использовано для повторения эффективного взаимодействия в будущем. Аналогично можно действовать при организации учебного процесса. Шаблоны удачного взаимодействия, полученные в ходе работы реального управленческого коллектива, могут быть использованы при макетировании кросс-функциональной команды в учебном заведении или при повышении квалификации.

В связи со сложностью интерпретации шаблона взаимодействия, выработать на его основе содержательные рекомендации нельзя. Поэтому в качестве инструмента управления в кросс-функциональной команде будем использовать технологию моделирования с использованием бизнес-симулятора. При решении тестовой проблемы с использованием бизнес-симулятора у преподавателя или организатора появляется возможность отследить события взаимодействия в учебной группе, фиксируемые аналогично событиям взаимодействия в кросс-функциональной команде, отслеживаемым в едином информационном пространстве предприятия.

Для оценки соответствия будем использовать взаимную интервальную корреляционную функцию в нотации Айверсона, которая позволяет определить интервалы ожидания событий с допустимым «дрожанием»:

$$K(G_l) = \frac{1}{N_g} \sum_{n=1}^{N_g} \sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_u} \sum_{k=1}^{N_e} g_{l,n} \cdot e_{i,j,k} \cdot \left[t_{l,n} \le t_{i,j,k} < t'_{l,n} \right] = 1 \qquad (5)$$

В результате, технологию организации и управления кросс-функциональным взаимодействием персонала предприятия определим следующим образом:

1. Определение паттернов эффективного взаимодействия на предприятии или с помощью бизнес-симулятора для профессиональной (контрольной) группы.
2. Совместное решение тестовой проблемы и фиксация событий в бизнес-симуляторе для группы учеников.
3. Взаимный корреляционный анализ процессов взаимодействия.
4. Определение отклонений от шаблонов и корректировка.

Пример реализации взаимодействия

Одной из моделей согласования и совместного утверждения решений является метод «активного консенсуса» [1]. Процесс решения проблемы делится на два этапа: обсуждение возможных решений (отрезок AB) – от момента выявления проблемы до момента принятия решения по способу решения, исполнение принятого решения (отрезок BC) – от момента определения способа решения проблемы до момента ее эффективного решения (см. рис. 1).

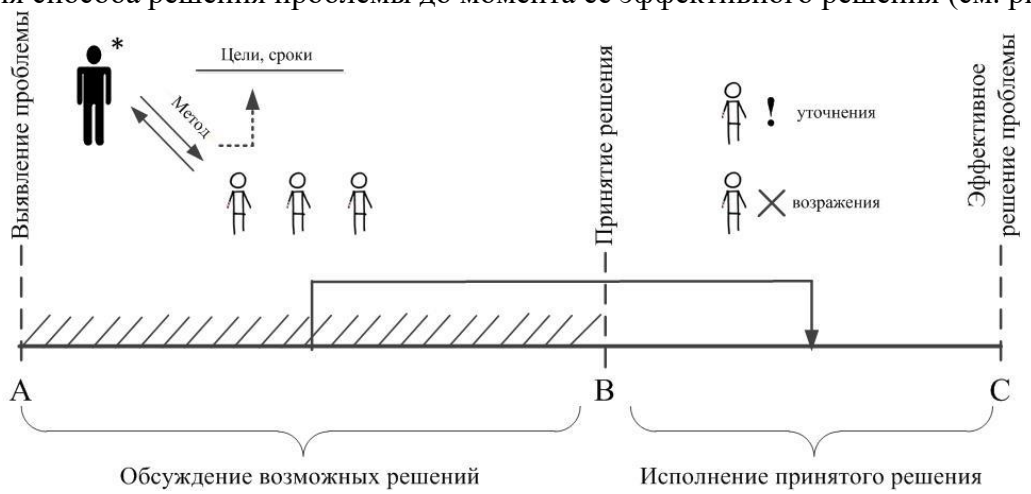


Рис. 1 Активный консенсус

Активный консенсус можно формализовать в виде нескольких вариантов шаблона взаимодействия, соответствие которому позволяет сократить время исполнения принятых решений (отрезок BC), и тем самым, оптимизировать весь процесс от выявления проблемы до ее эффективного решения (отрезок AC), за счет детального обсуждения возможных решений и поиска активного консенсуса на отрезке AB.

Реализация бизнес-симуляторов
для управления кросс-функциональным взаимодействием

Для практической реализации предложенной технологии организации и управления кросс-функциональным взаимодействием персонала предприятия было разработано 4 уровня обучения в рамках бизнес-симулятора:

1. Калькулятор (Business Calculator). На этом уровне пользователь учится понимать бизнес проблемы и решать их, принимая во внимание множество факторов. В качестве учебных кейсов используются задания следующих типов: выберите тестовый бизнес кейс из списка, каждый из которых посвящен определенной бизнес проблеме, проведите расчеты для оценки возможных опций, выберите лучший вариант, проверьте эффективность принятого решения и оцените полученный результат.
2. Планировщик (Business Planner). На данном уровне пользователь учится разрабатывать эффективную бизнес стратегию в нейтральной ситуации: в отсутствии конкурентов, оппозиции или кооперации. От пользователя требуется разработать бизнес план на определенный период времени: серию действий, которые должны привести к положительному результату.
3. Бизнес игра (Business Game). Сценарий, в которой пользователь ставится в определенную ситуацию и должен реагировать в реальном времени на изменения, которые система симулирует для него.
4. Взаимодействие (Business Synergy), когда несколько пользователей могут кооперировать в реальном времени. Каждому приписывается функция или роль в определенной ситуации в соответствии с выбранным бизнес кейсом; пользователи принимают решения, которые оцениваются и сравниваются системой. На определенном этапе вводятся конфликтные ситуации, платформа имеет возможность поддерживать кооперационные и конкурентные стратегии. В итоге производится подсчет затраченного времени и анализ лучших и худших результатов каждого пользователя.

Список литературы

1. *Карлос Гон, Филипп Риэ.* Гражданин мира. - М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 320 с.
2. *Белбин Р.М.* Команды менеджеров: как объяснить их успех или неудачу, Лондон-Роттердам-Москва, Кивитс, 2009 – 240 с.
3. *Щедровицкий Г.П.* Оргуправленческое мышление: идеология, методология, технология: Курс лекций // Из архива Г.П. Щедровицкого. – Т.4. –М., 2000. – 382 с.
4. *Щедровицкий Г.П.* Автоматизация проектирования и задачи развития проектировочной деятельности // Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании (теория и методология). - М., 1975.
5. Путеводитель по методологии Организации, Руководства и Управления: Хрестоматия по работам Г.П. Щедровицкого. - М.: Дело, 2003. – 160 с.
6. *Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А.* Математические модели организаций: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
7. *Бурков В.Н., Новиков Д.А.* Теория активных систем (история развития и современное состояние) // Проблемы управления № 3.1, 2009. – с. 29 – 35
8. *Новиков Д.А., Петраков С.Н.* Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
9. *Иващенко А.В.* Управление взаимодействием персонала предприятия в многоакторной интегрированной информационной среде / Программные продукты и системы, 2012. – № 3. – с. 18 – 22
10. *Иващенко А.В.* Метод кондициального управления взаимодействием в мультиагентной среде // Системы управления и информационные технологии, 2013. – № 1. – с. 39 – 43.

05.13.18

И.В. Кирсяев, В.В. Черняев к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь

РАСЧЕТ РЕЖИМА РАБОТЫ СПЭ-КАБЕЛЯ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ЭКРАНАМИ

Цель данной работы – замена экрана из медных проволок на экран из алюминиевых проволок. Объектом исследования является силовой кабель марки ПвП 1х240/35-10. В результате исследования был получен силовой кабель с экраном из алюминиевых проволок не уступающий по характеристикам кабелю с экраном из медных проволок.

Ключевые слова: *силовой кабель.*

В настоящее время на кабельных предприятиях России происходит настоящий всплеск в освоении производства силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) на низкое и среднее напряжение 1-35 кВ. Один за другим, крупные предприятия России инвестируют средства в эти новые для России технологии и дорогостоящее оборудование.

Рассмотрим типовую конструкцию кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на примере силового кабеля марки ПвП 1х240/35-10 (Рис. 1) [1].

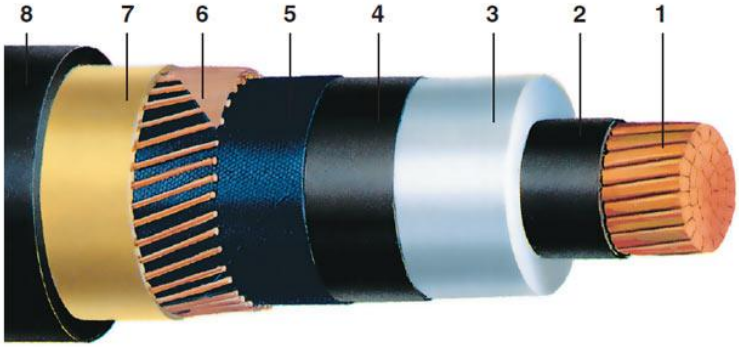


Рис.1 Силовой кабель марки ПвП 1х240/35-10

1. Круглая многопроволочная уплотнённая токопроводящая жила из меди;
2. Экран по жиле из экструдируемого полупроводящего сшитого полиэтилена;
3. Изоляция из сшитого полиэтилена (Пв);
4. Экран по изоляции из экструдируемого полупроводящего сшитого полиэтилена;
5. Разделительный слой;
6. Экран из медных проволок, скреплённых медной лентой;
7. Разделительный слой;
8. Оболочка из полиэтилена (П).

Такой кабель предназначен для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 10 кВ номинальной частотой 50 Гц для сетей с заземленной и изолированной нейтралью. Прокладка может осуществляться в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений, независимо от степени коррозионной активности грунтов.

В настоящий момент основным материалом для экранов (элемент 6 на рис. 1) является медь. Учитывая её высокую стоимость и вес оказался целесообразным вопрос замены медного экрана на алюминиевый. Для этого определяли сечение алюминиевого экрана, которое будет эквивалентно по сопротивлению экрану из медных проволок, с учетом температуры экрана.

С этой целью рассчитывали температуру экрана при максимальном допустимом токе, проходящем через жилу [2], с помощью тепловой схемы замещения кабеля. [3, 4]

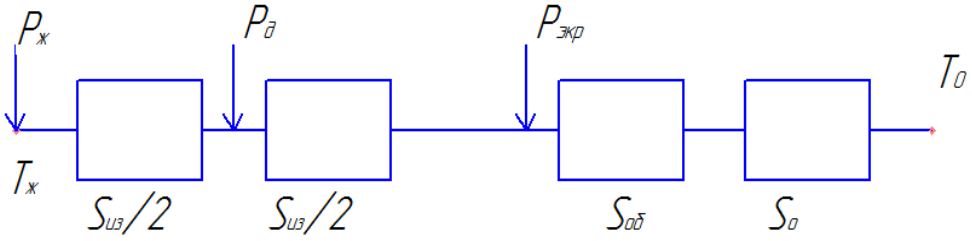


Рис.2 Тепловая схема замещения.

где: $P_ж$- потери в жиле, $P_д$ – диэлектрические потери, $P_{экр}$ – потери в экране, $T_ж$ – температура жилы, T_0 – температура окружающей среды, $S_{из}$ – тепловое сопротивление изоляции, $S_{об}$ – тепловое сопротивление оболочки, $S_о$ – тепловое сопротивление окружающей среды.

Тепловыми сопротивлениями экранов пренебрегали ввиду их высокой теплопроводности.

Температура на экране вычислялась итерационным методом. На первом шаге вычислялось сопротивление и потери в экране при температуре 20°С. Затем по известным теплопотерям определялась температура экрана и уточнялось его сопротивление. В результате было определено, что для получения тех же электрических характеристик экрана требуется увеличение количества проволок с 14 до 23 при одинаковом диаметре.

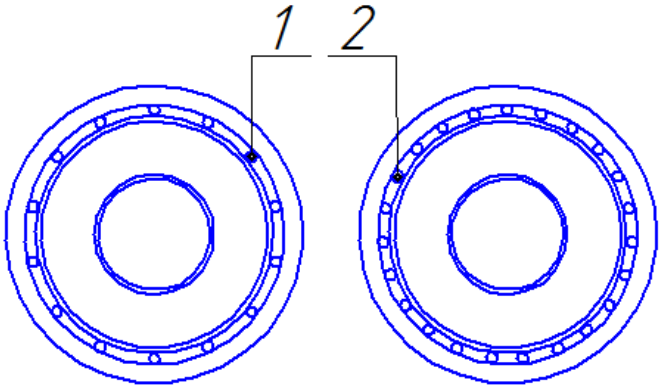


Рис.3. Конструкция кабеля с медным(1) и алюминиевым(2) экраном.

Для учета взаимного влияния кабелей смонтированных в линию была построена её двумерная модель в пакете ANSYS. Расстояние между кабелями принималось равным 10 см согласно ПУЭ. Условия прокладки – в земле.

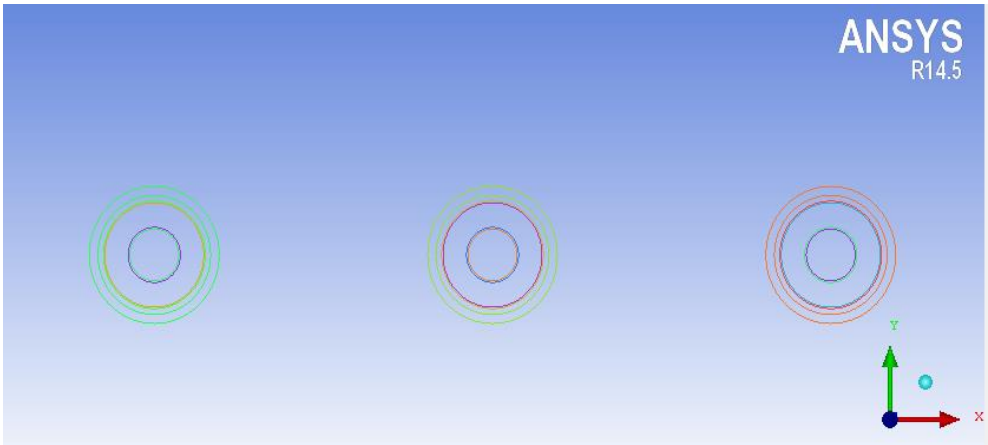


Рис.4 Двумерная модель кабельных линий.

Результаты решения представлены на рисунках 5 и 6.

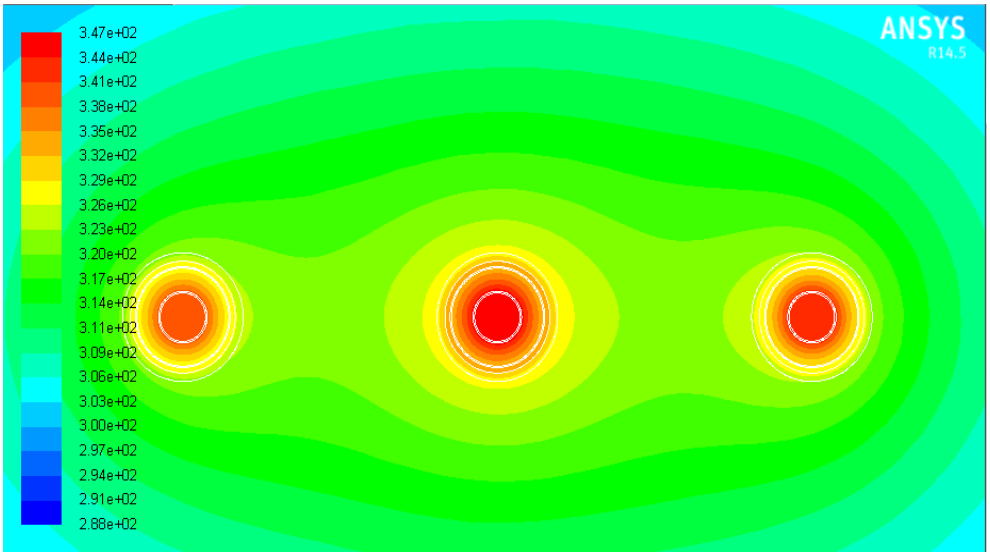


Рис.5 Тепловое поле кабеля с экраном из медных проволок количеством 14.

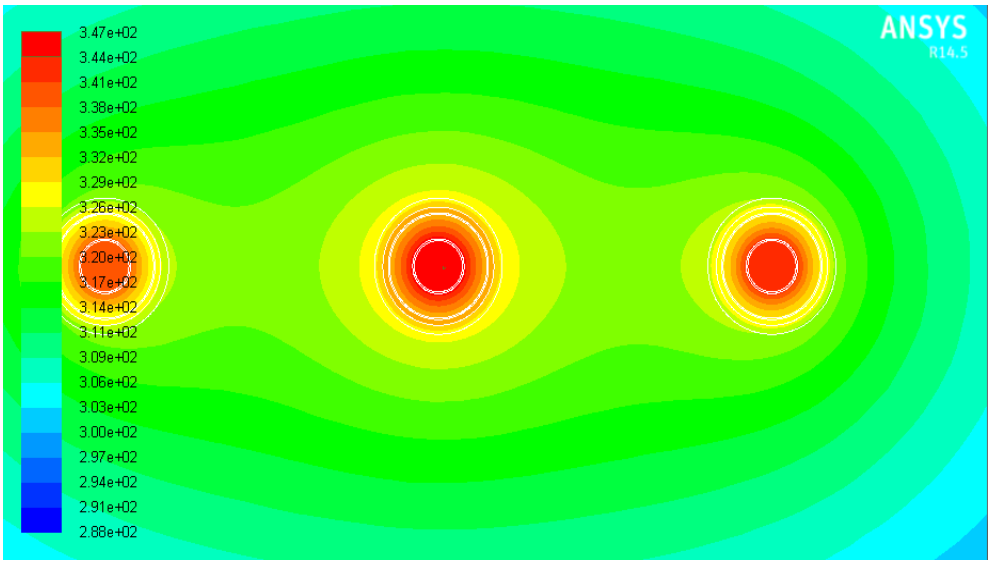


Рис.6 Тепловое поля кабеля экраном из алюминиевых проволок количеством 23.

Выполненный расчет показал, что тепловые поля кабелей с разным типом экранов совпадают, а значит замена дорогостоящей меди на более дешевый алюминий оправдана.

Кроме того расчет показал, что температурное поле кабельной линии, в отличии от одиночно проложенного кабеля, неоднородно: температура центрального кабеля будет выше чем температура крайних кабелей, что можно объяснить взаимным тепловым влиянием кабелей проложенных совместно.

Список литературы

1. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ. ТУ 16.К71-335-2004.
2. Правила устройства электроустановок.
3. Основы кабельной техники:учеб. Пособие/ Л.А. Ковригин. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006.-94 с.
4. Основы кабельной техники. Под общей редакцией проф. В.А. Привезенцева. Издательство «ЭНЕРГИЯ» Москва 1967.

05.13.12

И.Б. Крылов

Оренбургский государственный университет, Оренбург, krilovib@mail.ru

РАЗРАБОТКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

В статье рассматривается ряд причин, препятствующих широкому использованию интеллектуальных систем обучения автоматизированному проектированию в вузах. Обосновывается применение агентно-ориентированного подхода при разработке интеллектуальных систем обучения. Описывается разработанная модель интеллектуального агента корректировки индивидуальной траектории обучения. Рассматривается применение нечёткой нейронной сети Такаги-Сугено-Канга в интеллектуальном агенте, реализующем корректировку индивидуальной траектории обучения.

Ключевые слова: *интеллектуальные системы обучения, обучение автоматизированному проектированию, агентно-ориентированный подход, интеллектуальный агент, нечёткая нейронная сеть.*

На сегодняшний день важнейшими проблемами, определяющими уровень ускорения научно-технического прогресса общества, являются увеличение производительности труда разработчиков новых изделий, сокращение сроков проектирования, повышение качества разработки проектов. Одним из направлений решения этих проблем является создание, развитие и использование систем автоматизированного проектирования (САПР) [1]. В связи с этим возникает потребность в подготовке высококвалифицированных кадров, обладающих навыками и умениями в области автоматизированного проектирования, формирование которых в условиях информатизации образования должно осуществляться посредством интеллектуальных систем обучения.

Однако, существует ряд причин, препятствующих широкому использованию интеллектуальных систем обучения (ИСО) автоматизированному проектированию (АП) в вузах. Основными среди них являются: высокая нагрузка на аппаратное обеспечение и компьютерную сеть; отсутствие адаптивного управления процессом обучения при анализе результатов текущего процесса обучения. В данном контексте под адаптивным управлением процессом обучения [2] посредством ИСО, подразумевается управление, обеспечивающее формирование индивидуальной траектории обучения, корректировка которой осуществляется с учетом следующих факторов: начального уровня знаний обучающегося; анализа текущего обучения; психологических особенностей обучающегося; результатов текущего и итогового контролей.

Для устранения первой причины в данной работе предлагается при разработке ИСО использовать агентно-ориентированный подход [3], основными элементами которого являются автономные объекты - «агенты», которые могут самостоятельно реагировать на внешние события и выбирать соответствующие действия. Агентно-ориентированный подход позволяет за счет реализации определенных алгоритмов взаимодействия отдельных компонентов интеллектуальной системы обучения при неопределенном алгоритме работы системы в целом разрабатывать распределенные ИСО, снижающие нагрузку на аппаратное обеспечение и компьютерную сеть.

Для осуществления адаптивного управления процессом обучения автоматизированному проектированию с учетом вышеперечисленных факторов автором разработана модель, рисунок 1, и алгоритм функционирования интеллектуального агента корректировки индивидуальной траектории обучения.

Рис. 1 – Модель интеллектуального агента корректировки индивидуальной траектории обучения

В отличие от разработанных ранее моделей интеллектуальных агентов, представленная модель включает подсистему интеллектуального поведения агента, осуществляющую функционирование в режимах корректировки индивидуальной траектории обучения и накопления знаний на основе нечёткой нейронной сети Такаги-Сугено-Канга. Выбор математического аппарата, реализующего функционирование интеллектуального агента, обусловлен следующими преимуществами: представление входных параметров в нечетком виде; накопление знаний для их последующего использования; проведение расчетов и принятие решения на основе накопленных знаний; прозрачность алгоритма принятия решений. Реализация адаптивного управления процессом обучения обусловлена возможностью накопления знаний и принятия решений на основе накопленных знаний. Структура разработанной нечёткой нейронной сети отображена на рисунке 2, при этом функция заключения нечеткой нейронной сети представлена совокупностью $M \times N \times K$ нечетких правил, где M, N, K – количество терм-множеств в каждой из трех входных нечетких переменных.

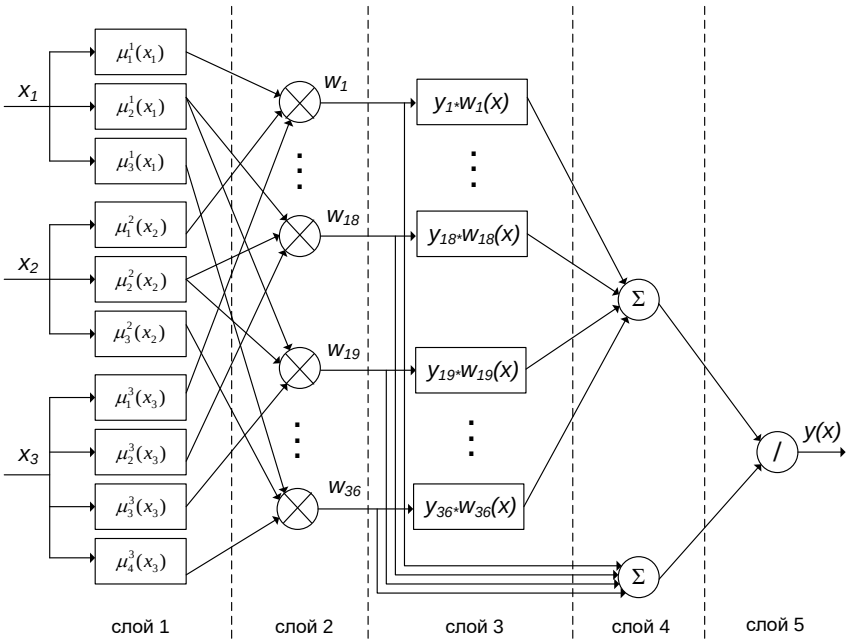


Рис. 2 – Структура разработанной нечёткой нейронной сети

Слой 1 реализует фаззификацию входных переменных x_1, x_2, x_3.

Значения входных переменных: «количество предоставленных подсказок при решении задач» – x_1, «сложность решенных задач» – x_2, «результат текущего контроля» – x_3, рассчитываются следующим образом:

$$x_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} \frac{l_i}{L_i}}{N_T},$$

где l_i – количество предоставленных подсказок по задаче i; L_i – максимально возможное количество подсказок при решении задачи i; N_T – общее количество задач, которые необходимо решить в текущей теме.

$$x_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i}{\sum_{i=1}^{N} k_i},$$

где k_i – коэффициент сложности решенной задачи, $k \in [1, 2]$; N – количество задач, представленных для решения; n – количество решенных задач.

$$x_3 = \frac{r_t}{R_t} + \frac{r_p}{R_p} + \frac{r_l}{R_l},$$

где R_t, R_p, R_l – общее количество представленных заданий текущего контроля по теоретическому блоку, блокам практических заданий и лабораторных работ; r_t, r_p, r_l – количество правильно решенных заданий текущего контроля по теоретическому блоку, блокам практических заданий и лабораторных работ, соответственно.

Слой 2 реализует агрегирование входных переменных, определяя при этом уровень активации каждого правила вывода. Данный слой не нуждается в обучении. В слое 3 рассчитываются значения выходных сигналов для каждого правила по формуле:

$$f(\bar{x}) = p_0 + \sum_{i=1}^{N} p_i x_i,$$

где коэффициенты $p_0, \ldots, p_i, \ldots, p_N$ подбираются в процессе обучения ИОС АП.

Слой 4 представлен 2 нейронами, выполняющими расчёт взвешенной суммы и суммы весов. Данный слой не является параметрическим, поэтому он не обучается. Слой 5 состоит из одного нейрона и выполняет нормализацию выходного сигнала по формуле:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^{M} w_k y_k}{\sum_{j=1}^{M} w_j},$$

где y – выход системы, y_k – выходное значение, рассчитанное для k-го правила в слое 3; w_j – вес j-го правила.

Слой 4 формирует выходной сигнал сети. Слой 1 и слой 3 являются обучаемыми. Для настройки параметров слоёв 1 и 3 был выбран непрерывный генетический алгоритм, поскольку он является наиболее универсальным и обеспечивает наиболее быстрый поиск результатов, чем алгоритм обратного распространения ошибки. В качестве функции приспособленности использовалась сумма квадратов отклонений выходов второго слоя нечёткой нейронной сети Такаги-Сугено-Канга от желаемых значений функции принадлежности по всей обучающей выборке соответствующего правила.

Результаты тестирования подсистемы интеллектуального поведения агента на основе нечеткой нейронной сети и полученное значение среднеквадратичной ошибки $\varepsilon \approx 0{,}0137$, определяемой по вычисленным и реальным значениям выходной переменной, показывают вычислительную адекватность и устойчивость ее работы. Внедрение полученных результатов позволяет реализовать интеллектуальную систему обучения автоматизированному проектированию с адаптивным управлением процессом обучения.

Список литературы

1. *Черепашков, А.А.* Методы и средства обучения автоматизированному проектированию в машиностроении : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Самара, 2014. 32 с.
2. *Крылов, И.Б.* База знаний интеллектуальной обучающей системы технической дисциплины / Н. Г. Семенова, А. М. Семенов, И. Б. Крылов // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2013. - № 9. - С. 232-239.
3. *Бугайченко, Д.Ю.* Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы ее реализации / Д. Ю. Бугайченко, И. П. Соловьев // Системное программирование. - 2005. - Т. 1, № 1. - С. 36–67.

05.26.01

Н.П. Крюков д.и.н., В.Н. Турченко к.т.н., С.Ю. Гамаюнов к.полит.н.

Поволжский межрегиональный филиал ФГБУ
«ВНИИ охраны и экономики труда» Минтруда России, Саратов,
director.pmf@yandex.ru, vasily.turchenko@mail.ru, gamaunow@yandex.ru

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В работе представлена общая характеристика условий труда работников профессиональной группы с наиболее вредными и опасными производственными факторами и профессиональными рисками на предприятиях городского электротранспорта.

Ключевые слова: *городской наземный электрический транспорт, охрана труда, условия труда работников трамвайных и троллейбусных парков, производственные факторы, профессиональные заболевания, профессиональные риски.*

Более 80% населения нашей страны пользуется услугами общественного транспорта. В городах до 85% загрязнения воздуха приходится на автотранспорт, что, по мнению некоторых ученых, сокращает среднюю продолжительность жизни на 4-5 лет. Исходя из этого городской электротранспорт должен стать основным видом транспорта для здоровой, удобной жизни города. Предприятия наземного городского электротранспорта расположены в 115 российских городах. В том числе, число городов России имеющих трамвай - 61, троллейбус - 85 [1].

За 2014 год перевезено пассажиров трамвайным транспортом 1629 млн. человек, троллейбусным 1735 млн. человек. Пассажирооборот городского наземного электрического транспорта составляет 13,5%, что составляет значимую долю в объёме пассажироперевозок городов РФ, не имеющих метро [1].

Эксплуатационная длина путей сообщения городского наземного электрического транспорта за последние 4 года прекратила сокращаться и составила для трамвайных путей 2,5 тыс. км., для троллейбусных линий 4,8 тыс. км [1].

В соответствии с транспортной стратегией Российской Федерации планируется строительство путей сообщения до 2020 г.: троллейбус (электробус) - 200 км, трамвай - 150 км [2].

Сегодня парк транспортной техники в отрасли представляет собой 8200 трамвайных вагонов и 10800 троллейбусов [3].

В отрасли трудятся - 260 тыс. человек: водители трамваев и троллейбусов, кондукторы, работники трамвайных депо и троллейбусных парков, осуществляющие обслуживание и ремонт подвижного состава, путевые рабочие выполняющие плановый и экстренный ремонт трамвайных путей и контактных сетей.

Современные социально-экономические тенденции развития общества обуславливают необходимость создания более благоприятных условий труда, снижения профессиональной заболеваемости работников данного вида деятельности.

В этих целях в ближайшие годы предполагается как развитие и обновление подвижного состава (рис. 1, 2), так и коренная техническая оснащенность трамвайных и троллейбусных хозяйств, занятых ремонтными работами городского электротранспорта.

Рис 1 - Низкопольный трамвай 71-414 (может двигаться со скоростью 75 км/ч, помещаются в нём почти 300 человек. В 2014 г. в Москве приобретено более 70-ти таких трамваев [4])

Рис. 2 - **Тролза-5265 "Мегаполис"** (характеризуется социальной направленностью, современным дизайном и удобством в эксплуатации)

Перспективы и быстрые темпы развития городского электротранспорта, появление вагонов нового поколения, требуют расширения и модернизации действующих предприятий транспортного машиностроения, занимающихся текущим, профилактическим и аварийным ремонтом транспортных средств, выдвигают перед сферой охраны труда ряд неотложных задач. Одной из наиболее важной является выявление и изучение влияния условий труда на состояние здоровья и разработка профилактических мероприятий, снижающих (исключающих) их вредное воздействие на работающих.

Работа городского электротранспорта непосредственно связана с проведением текущего, планово-профилактического и экстренного ремонта трамвайных поездов и другой техники, обеспечивающих функционирование электротранспорта (аварийно-восстановительная, электрохозяйство, служба пути и др.). Ремонтные работы на электротранспорте осуществляются на вагоноремонтных заводах и в депо трамвайных и троллейбусных парков.

Условия трудовой деятельности рабочих, занятых ремонтными работами электротранспорта, не всегда отвечают санитарно-гигиеническим требованиям. Следствием этого является достаточно высокий уровень как общей заболеваемости, так и профессиональной.

Современная нормативная документация сегодня касается в основном ремонтных работ на автомобильном транспорте и отражает вопросы технологии производства, характеристики некоторых факторов производственной среды без учета комбинированного влияния на состояние здоровья и работоспособности человека. Вопросы условий и охраны труда, физиологии, психологии, эргономики трудового процесса рабочих ремонтной службы электротранспорта, как комплексной проблемы, не подвергались всестороннему изучению.

Действующий документ: «Правила техники безопасности на городском электротранспорте Раздел 2. Трамвайные вагоны, троллейбусы, депо и ремонтные мастерские» (утвержденные в 1992 г.) не отражает в полной мере современные тенденции и требования охраны труда к рабочим местам, к технологическим процессам (в том числе при

проведении ремонтных работ), эксплуатации машин и оборудования, к применяемым сырью и материалам. Поэтому, актуальна необходимость разработки новых Правил по охране труда на городском электротранспорте, которые комплексно должны содержать требования безопасности в данном виде деятельности.

Выявляя вредные и опасные производственные факторы, факторы трудовых процессов (вместе взятые – профессиональные риски) при ремонтных работах городского электротранспорта в заводских и парковых условиях прежде всего следует выделить следующие характеристики [5,6]:

- параметры микроклимата;
- запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- производственный шум;
- производственное освещение;
- травмоопасность технологических процессов и применяемого оборудования. К сожалению, проводимая сегодня специальная оценка условий труда не позволяет проводить оценку этого важного параметра условий труда.

Важным направлением охраны труда на электротранспорте является изучение функционального состояния организма рабочих в процессе труда в динамике рабочего дня, учитывая тяжесть и напряженность труда.

Другим направлением, можно обозначить анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности, изучение уровня и структуры заболеваемости работающих, в зависимости от профессии, возраста и стажа работы.

Основными технологическими производствами при проведении ремонтных, обслуживающих и наладочных работ являются: механо-сборочное, кузнечно-прессовое, термическое, сварочное, гальваническое и малярное производство. Наиболее массовые здесь профессии: слесари-сборщики, слесари-ремонтники, станочники, сварщики, термисты, гальваники, кузнецы.

В целом по Горэлектротрансу доля женщин составляет 30-40%. 0сновными рабочими профессиями, в которых заняты женщины, являются: мойщицы, смазчицы, маляры, гальваники, аккумуляторщицы, сварщики, электрики и другие.

Производственный процесс текущего и профилактического ремонта транспорта состоит из ряда технологических этапов - моечные и очистные работы, диагностические работы, разборка узлов и агрегатов, разбраковка, установка узлов и деталей, регулировка, испытательные работы и другие.

Распространены приемы немеханизированного труда на таких операциях, как ручная разборка и сборка узлов и агрегатов, окрасочные работы, гальванические, столярные, кузнечно-прессовые работы и другие операции.

Для каждого этапа работ характерны свои особенности, которые формируют комплекс неблагоприятных производственных факторов, воздействующих на работающих.

Можно выделить некоторые оценочные характеристики условий труда на указанных трудовых процессах.

На всех производственных участках отмечаются дискомфортные микроклиматические условия, подвергающиеся сезонным колебаниям. Так, температурные характеристики на многих участках на 10-20°С ниже установленных СанПиН 2.2.4.548-96 для холодного периода года и, в то же время, в теплый период года отмечается превышение температурных режимов на 15-25°С [7].

Хронометражные наблюдения показывают, что от 72 до 88% рабочего времени работающие находясь на различных участках ремонтных работ, подвергаются комбинированному воздействию токсических веществ. Так, на участках профилактического осмотра можно выделить фактические концентрации: оксиды углерода (4-10 мг/м^3 при ПДК = 20 мг/м^3), диоксиды азота (0,1-0,2 мг/м^3 при ПДК = 5 мг/м^3). На столярном, шлифовальном, кузнечном и термическом участках - пыль (2-80 мг/м^3 при ПДК = 10 мг/м^3), слесарно-механическом, моторном, термическом - масляный аэрозоль (1-5 мг/м^3 при ПДК = 5 мг/м^3).

На термическом, аккумуляторном, малярном участках - диоксиды азота и серы (0,5-6 мг/м^3 при ПДК = 2 мг/м^3 и 10 мг/м^3 соответственно), углеводороды (20-120 мг/м^3 при ПДК = 300 мг/м^3), пары толуола (60-90 мг/м^3 при ПДК = 50 мг/м^3) [7].

На некоторых участках ремонтной зоны - сварочных постах, термических, аккумуляторных, ремонта редукторов в воздухе рабочей зоны определялись свинец, железо, марганец, никель, кадмий. И хотя концентрации этих веществ в основном не превышали ПДК, они являются весьма токсичными веществами (например, свинец – 1 класс опасности), тем более, что часто воздействуют на работающих в комбинации с другими веществами и факторами.

Наиболее неблагоприятными в гигиеническом отношении технологическими операциями являются: сварочные работы, термическая обработка деталей, окрасочные работы, гальваническое покрытие, обработка металла на металлорежущем, абразивном и кузнечно-прессовом оборудовании, аккумуляторные участки. Зона дыхания работающих при выполнении этих операций, как правило, расположена в 40-50 см от источников выделения токсичных веществ. Нередко работы выполняются в положении стоя или в вынужденной рабочей позе (на коленях, в наклонном положении тела, на весу при фиксации тела в салоне трамвая, троллейбуса) с необходимостью частых наклонов. Анализ хронометражных исследований основных профессиональных групп показывает, что продолжительность работ, выполняемых работающими в нерациональной физиологической позе, может колебаться в значительных пределах (40-60% рабочего времени).

Вредное шумовое воздействие наблюдается на технологическом оборудовании и проведении уборочно-моечных работ, подъемно-транспортном оборудовании, работ по диагностике, контролю и регулировке узлов и агрегатов, слесарно-механических и электромеханических работ, сварочных, кузнечных и других операций. Наибольшие уровни интенсивности шума (допустимый уровень шума в настоящее время - 80 дБА) установлены на участках планово-предупредительного ремонта (ППР) - столярном (89-99 дБА), слесарно-механическом (74-89 дБ А), кузнечном (97-114 дБ А), испытания двигателей (91-98 дБА), агрегатном (82-96 дБА), сварочных постах (85-97 дБА) [7].

Выполнение основных технологических операций при проведении планово-профилактического ремонта (ППР) требует напряжения зрения для обнаружения дефектов, неисправностей оборудования и достаточного освещения. Замеры освещенности показывают, что фактическая освещенность на рабочих местах в 70-80% случаев ниже нормируемых параметров по СНиП 23.05-95. Особенно низкие уровни освещенности отмечаются на участках профилактического осмотра - в траншеях (40-50 лк), под вагонами (30-70 лк). Заметим, даже для самых нетребовательных характеристик зрительных работ освещенность не должна быть менее 200 лк [7].

Напряженность трудового процесса является важным неблагоприятным фактором для рабочих ремонтно-профилактической службы. Особенно велико психоэмоциональное напряжение, связанное с выполнением работ в аварийных ситуациях, с дефицитом времени и др.

Хронометражные наблюдения показывают высокую плотность трудовой деятельности (70-80%) и возникновение ситуаций, создающих дефицит времени, обусловленный соблюдением графика ремонтных работ [8].

Исследования функционального состояния организма основных профессиональных групп позволяют проследить динамику физиологических показателей в течение рабочего дня и смены. При сопоставлении показателей функционального состояния центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и двигательного аппарата по профессиональным группам было установлено, что изменения физиологических показателей носят фазовый характер, нередко превышали допустимые физиологические параметры.

Труд ремонтников, по показателям тяжести, как правило, относится к 3 классу условий труда (вредный), по показателям напряженности - ко 2 классу условий труда (допустимый). Труд инженерно-технических работников по показателям тяжести в основном относится к 1

классу условий труда (оптимальный), а по показателям напряженности - к 3 классу (вредный).

Оценка интенсивных и стандартизованных показателей (коэффициентов) заболеваемости у мужчин и женщин с достаточной вероятностью показала, что заболеваемость с временной утратой трудоспособности (ВУТ) у женщин выше, чем у мужчин [9].

Уровень заболеваемости с ВУТ колеблется по производственным участкам, отражая специфику неблагоприятных производственно-профессиональных факторов. Наибольший уровень заболеваемости с ВУТ отмечается у рабочих кузнечно-прессового, сварочного и гальванического производств.

Уровень заболеваемости с ВУТ у рабочих старших возрастных и стажевых групп выше, чем у лиц молодого возраста и небольшого стажа. В структуре заболеваемости с ВУТ наибольший удельный вес имеют ОРЗ, грипп, тонзиллиты, фарингиты и другие (53,4-56,8%). На втором месте - заболевания сердечно-сосудистой системы: гипертоническая болезнь и ишемическая болезнь сердца (7,7-12,3%). На третьем месте - болезни костно-мышечной системы, кожи и травматизм (3-6%).

Исходя из проведенного анализа условий труда, можно говорить о следующих первоочередных направлениях улучшения условий и охраны труда работников городского наземного электротранспорта:

- организация непрерывного или агрегатного метода проведения ремонтных работ с максимальной механизацией и автоматизацией основных и вспомогательных процессов, что позволит в значительной мере уменьшить контакт работающих со смазочными материалами, технологическими жидкостями и другими агрессивными химическими соединениями, используемых в технологическом процессе;
- уменьшение тяжести и напряженности трудового процесса рабочих, совершенствование ручных и трудоемких операций, максимальное использование ручных механизированных инструментов, в частности, при проведении диагностических, сборочных, смазочных, окрасочных работ;
- совершенствование операций по мойке и чистке узлов, деталей и агрегатов от нефтепродуктов, окрасочные, смазочные и другие работы;
- рациональное трудоустройство женщин с учетом рекомендуемых трудовых нагрузок;
- для снижения загазованности и запыленности воздушной среды необходимо предусмотреть максимальную герметизацию оборудования, проведение технологических процессов в специально оборудованных кабинах, совершенствование используемых аппаратов, устранение морально устаревшего оборудования на термических, гальванических, кузнечных, окрасочных, сварочных и других участках;
- эффективная вентиляция. Основное внимание должно уделяться устройству вытяжной вентиляции на малярных, гальванических, термических, сварочных участках;
- предупреждение интоксикаций и профдерматозов при работе со смазочными материалами, нефтепродуктами и другими химическими соединениями, ремонтники. Это достигается с помощью применения эффективных средств индивидуальной, в том числе, дерматологических средств;
- широкое внедрение системы управления охраной труда, неотъемлемой частью которой является управление профессиональными рисками [10].

Список литературы

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. http://www.gks.ru/ (дата обращения: 1.06.2015).
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года изложенная в новой редакции. Распоряжение от 11 июня 2014 года №1032-р. http:// http: www.rosavtodor.ru/ (дата обращения: 3.06.2015).
3. Официальный сайт международной выставки "ЭлектроТранс 2015"// http:www.electrotrans-expo.ru/ (дата обращения: 8.06.2015).
4.Сайт БЕЗФОРМАТА.RU. ttp://moskva.bezformata.ru/listnews/nizkopolnij-tramvaj-viehal-na-marshrut/20738392 (дата обращения: 15.06.2015).
5. *Жукова С.А., Мамзурин Э.В.* Идентификация опасностей в процессе оценки профессиональных рисков // Охрана и экономика труда – Научно-профессиональный журнал, 2014.- № 4 (17).- С. 16-20.
6. *Крюков Н.П., Истомин С.В., Турченко, В.Н., Ефимова И.В.* Оценка профессиональных рисков // Справочник специалиста по охране труда, 2010, № 8. С. 26-37.
7. *Посаженников А. П.* Гигиеническое и медико-социальное обоснование мероприятий по оздоровлению производственной деятельности рабочих- ремонтников городского электротранспорта. Автореф. канд.мед.наук. - Спб. 2002. 18 с.
8. *Садко Н.В.* Актуальные проблемы и факторы, влияющие на заболеваемость работников городского электрического транспорта. //Вестник общественного здоровья и здравоохранения Дальнего Востока России. 2011. № 1. – С. 74-81.
9. *Михадарова С. А.* Условия труда работников городского электротранспорта. 10.06.2014. Официальный сайт «Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл». //http://www.12sanepid.ru/ (дата обращения: 2.06.2015).
10. *Крюков Н.П., Жукова С.А.* Взаимосвязь системы управления охраной труда, системы управления профессиональными рисками и специальной оценки условий труда // Охрана и экономика труда – Научно-профессиональный журнал, 2014.- № 2 (15).- С. 61-63.

05.17.01

М.А. Куликов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, kulikov.74@list.ru

ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРА КОАГУЛЯНТА ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА АММИАКА

В статье рассматривается использование отработанного катализатора синтеза аммиака для приготовления раствора коагулянта в процессах промышленной водоподготовки. Показано влияние концентрации серной кислоты на скорость растворения катализатора. Представлены сравнительные результаты испытаний полученных растворов и растворов из технического железного купороса.

Ключевые слова: *отработанный катализатор синтеза аммиака, водоподготовка, осветление воды, коагуляция, раствор коагулянта.*

Одним из этапов современной водоподготовки является удаление коллоидных примесей, негативно влияющих на дальнейшие процессы очистки и обессоливания воды [1]. Коллоидные системы весьма устойчивы, поэтому методы отстаивания в этих условиях не целесообразны. Чтобы разрушить такую систему необходимо укрупнить коллоидные частицы, это достигается с помощью коагуляции. Для проведения процессов коагуляции используют различные воздействия, чаще всего к воде добавляют специальные реагенты – коагулянты. Наибольшее распространение получили соединения железа и алюминия [2-5]. Из соединений железа в практических целях используют сульфаты двухвалентного и трехвалентного железа. Наиболее ценным свойством железных коагулянтов, является высокая плотность гидроксида, обеспечивающая высокую скорость отстаивания. Для получения сульфатов железа могут быть использованы как металлическое железо, так и различные отходы [6].

Настоящая работа посвящена исследованию возможности применения отработанного катализатора синтеза аммиака для получения раствора коагулянта в процессе осветления речной воды.

Отработанный катализатор имеет состав: металлическое железо – 62,2 %; FeO – 20,1 %; Fe_2O_3 – 8,5 %; (Al + Ca + K) – остальное. Для определения оптимального режима растворения использовали серную кислоту разной концентрации.

На первом этапе работы были изучены условия растворения катализатора в растворах серной кислоты различной концентрации. Для этого навеску катализатора в количестве 45 г заливали раствором серной кислоты с температурой 80 °С и выдержали в термостате при температуре 70 °С в течении двух суток. Повышение температуры до 100 °С и выше оказалось нецелесообразным, поскольку в этих условиях наблюдается образование бурого осадка. Было высказано предположение, что при повышении температуры увеличивается степень окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} с последующим образованием побочного продукта – основной соли $Fe_2O(SO_4)_3$, которая образуется по реакции:

$$Fe_2(SO_4)_3 + H_2O = Fe_2O(SO_4)_3\downarrow + H_2SO_4 .$$

Зависимость количества растворившегося катализатора от концентрации серной кислоты представлена на рисунке 1, из которого следует, что максимальная скорость растворения достигается при концентрации H_2SO_4 в исходном растворе 30 %, при уменьшении или увеличении концентрации скорость растворения падает.

На втором этапе работы были исследованы коагулирующие свойства растворов сульфата железа.

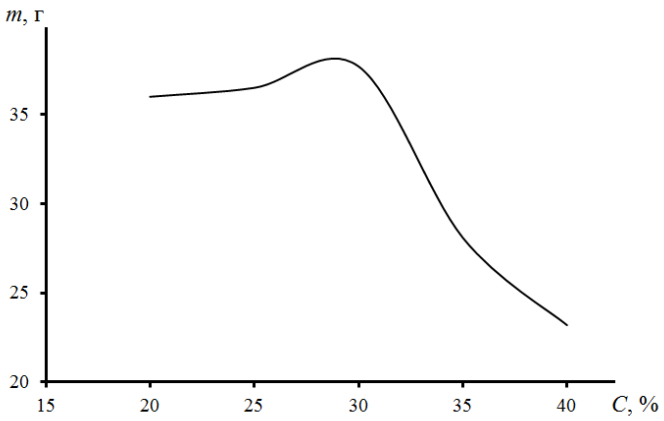


Рис.1 – Зависимость количества растворившегося катализатора от концентрации серной кислоты

Полученный раствор был разбавлен водой до плотности 1,225 г/см^3, что соответствует 20 % раствору сульфата железа. Раствор именно такой концентрации используется в качестве коагулянта.

После фильтрации 20 % раствор сульфата железа и шлам, оставшийся после растворения катализатора, проанализированы по основным физико-химическим показателям. Данные анализа представлены в таблице 1.

Для сравнения параллельно был приготовлен раствор сульфата железа из технического железного купороса. Полученный раствор отфильтровали и проанализировали. Результаты также представлены в таблице 1.

Растворы, приготовленные из отработанного катализатора синтеза аммиака (далее – «раствор катализатора») и технического железного купороса в лабораторных условиях, были использованы как разные коагулянты для процесса осветления речной воды.

Для сравнительной оценки качества воды, осветленной раствором катализатора, одновременно проведена коагуляция речной воды растворами железного купороса, один из которых приготовлен в производственных условиях, а второй – в лабораторных условиях из сухой соли $FeSO_4$.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика растворов сульфата железа

№ п/п	Наименование показателя	Раствор из катализатора	Раствор из железного купороса
1	Удельный вес, г/см^3	1,225	1,225
2	М. д. Fe^{+2} в пересчёте на $FeSO_4$, %	18,6	19,2
3	М. д. Fe^{+3} в пересчёте на $Fe_2(SO_4)_3$, %	1,2	1,5
4	М. д. Al в пересчёте на $Al_2(SO_4)_3$, %	13,3	1,1
5	Содержание свободной H_2SO_4, г/дм^3	13,2	5,1
6	K^+, г/дм^3	1,44	0,05
7	Na^+, г/дм^3	0,28	0,20
8	pH раствора	2,3	2,2
9	Масса шлама, % от массы раствора	1,0	0,3
10	Состав шлама, %, в пересчёте на сухое вещество		
	М. д. $CaSO_4$	96,6	-
	М. д. Al_2O_3	2,8	-
	М. д. Fe_2O_3	0,6	21,1
	М. д. нерастворимого осадка	-	1,9
	М. д. SiO_2	-	77,0

Концентрация всех трех растворов подобрана одна и та же – 48,6 г/дм^3 в пересчете на $FeSO_4$. Для коагуляции взяты производственные дозы сульфата железа, известкового молока

и флокулянта Праестол, применяемые для осветления речной воды: $FeSO_4$ – 1,28 ммоль/дм^3, $Ca(OH)_2$ – 3,7 ммоль/дм^3, Праестол – 0,15 мг/дм^3.

Исходная температура речной воды 22 °С. Пробную коагуляцию проводили без подогрева воды. Реагенты вводили при перемешивании с интервалом в две минуты в следующем порядке: вначале раствор сульфата железа, затем известковое молоко и далее Праестол.

Коагуляцию проводили в трех цилиндрах, в каждый из которых было налито по 1 дм^3 речной воды. В первом цилиндре проведена коагуляция с цеховым раствором железного купороса, во втором – с раствором $FeSO_4$, приготовленным из соли, в третьем – с раствором катализатора.

После добавления реагентов осветление воды проходило в течение 30 минут. Особых различий при осаждении хлопьев в трех цилиндрах не замечено. Через 30 минут проанализировали осветленную воду. Результаты анализов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Качество осветленной воды

Наименование показателей	Цеховой раствор $FeSO_4$	Приготовленный раствор $FeSO_4$	Раствор катализатора	Исходная вода
pH	10,8	10,9	10,8	7,9
Мутность, мг/дм^3	2,2	1,0	1,65	0,91
Щелочность, ммоль/дм^3	0,9	1,05	1,0	1,6
Жесткость, ммоль/дм^3	2,9	2,9	2,9	2,3
М. д. Fe^{2+}, мг/дм^3	0,17	0,096	0,074	0,85
М. д. Al^{3+}, мг/дм^3	0	0	0,17	0
М. д. SO_4^{2-}, мг/дм^3	82	78	82	19,5
М. д. Na^+, мг/дм^3	34,4	35,5	35,5	28,0
М. д. K^+, мг/дм^3	6,0	6,0	6,4	5,6

Для обеспечения оптимальных параметров работы последующих стадий водоподготовки, качество осветленной воды должно соответствовать нормам:

-pH – 8,5-10,5;

-мутность, мг/дм^3 – не более 10,0;

-щелочность, моль/дм^3 – не более 1,0;

-жесткость, моль/дм^3 – не более 4,0;

-Fe^{2+}, мг/дм^3 – не более 0,3.

Из таблицы 2 следует, что качество осветленной воды, полученной в трех цилиндрах, соответствует нормам и отличается между собой незначительно. Единственное существенное отличие состоит в том, что вода, осветленная раствором катализатора, содержит алюминий, который попадает в нее из раствора катализатора.

Таким образом, основываясь на проведенных исследованиях можно заключить, что отработанный катализатор синтеза аммиака может быть использован для приготовления коагулирующего раствора сульфата железа.

Список литературы

1. Водоподготовка: Справочник / Под ред. *С.Е. Беликова*. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

2. *Драгинский В.Л., Алексеева Л.П.* Особенности применения коагулянтов для очистки природных цветных вод. – Водоснабжение и санитарная техника, 2008. № 1. С. 9 – 15.

3. *Музыченко О.В., Мандрик Т.С.* Современные коагулянты. – Вологдинские чтения, 2009. № 76. С. 82 – 84.

4. *Ахметова И.Г.* Разработка новых коагулянтов для процессов водоподготовки ТЭС: дис. … канд. техн. наук. - Казань, 2003. – 133 с.

5. *Квятковский В.М., Баулина А.И.* Руководящие указания по коагуляции воды на электростанциях // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: http://docs/cntd.ru/document/1200044191 (дата обращения 20.06.2015).

6. *Акимова М.А., Калюкова Е.Н.* Утилизация отходов гальванического производства. Получение коагулянта. – Международный научно-исследовательский журнал, 2015. № 5(36). Ч. 1. С. 33 – 35.

05.09.03

Е.Н. Леонов

ФГБОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет,
филиал ТюмГНГУ в г. Тобольске, кафедра электроэнергетики, г. Тобольск, leonov@tobii.ru

ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ И МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В статье приведены целевые функции оптимизации электротехнических систем и комплексов с установками малой мощности использующими принцип распределенной когенерации. Приведены методы, используемые при их анализе и требования к ним.

Ключевые слова: *малая электротехническая система, когенерация, целевые функции, методы оптимизации.*

В последнее время децентрализация и развитие технологий и комплексов для автономного или индивидуального энергоснабжения стало вновь актуальным. Продвижение технологий распределённой когенерации и создания малых электроэнергетических систем соответствует тенденциям развития мировой энергетике. Это приводит к повышению интереса к малым единицам производства тепловой и электрической энергии с перспективой развития таких установок. [1]

Современные электротехнические системы (ЭТС) являются сложным сочетанием высокотехнологических элементов, комплексов изделий и их взаимосвязей. При этом каждая из составляющих, в зависимости от положения в общей структуре системы, может оказать большое влияние на её рабочие характеристики.

Усложнение поиска глобального экстремума при решении задач оптимизации происходит из-за множества допустимых решений математической модели электротехнической системы со сложной структурой при применении установок распределённой генерации.

Конкретный вид целевой функции в математической модели зависит от заданного критерия эффективности. При оптимально проектировании ЭТС в качестве такого критерия обычно выбираются затраты на ЭТС ($З_{ЭТС}$) или стоимость ЭТС ($C_{ЭТС}$):

$$З_{ЭТС} = C_{ЭТС} + \frac{(\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau) \cdot C_э + Q \cdot C_p}{P_{ам} + E'_н},$$

где ΔP_{xx} – потери холостого хода;

$\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания;

Q– реактивная мощность;

$C_э$ и C_p – удельные затраты на возмещение потерь активной и реактивной мощности;

$T_{вкл}$ – период работы ЭТС;

τ – время работы с номинальной нагрузкой;

$P_{ам}$ – коэффициент амортизационных отчислений;

E' – нормативный коэффициент экономической эффективности.

$$C_{ЭТС} = \sum\left[M_i \cdot \left(\frac{Ц_i}{\eta_i} + З_i \cdot k_н\right)\right] + \sum M_i \cdot З_{пр},$$

где M_i – количество используемых электротехнических объектов (или их массогабаритные показатели);

$Ц_i$– цена объекта;

η_i– коэффициенты использования объекта;

$З_i$– удельные затраты по заработной плате на производство/монтаж объекта;

$k_н$– нормативный коэффициент;

$З_{пр}$– удельные затраты по заработной плате на прочие виды работ.

ЭТС с минимальным значением $З_{ЭТС}$ является наилучшей с точки зрения общих затрат на её монтаж и эксплуатацию. Минимальному значению $С_{ЭТС}$ соответствует другое – исполнение ЭТС с наименьшим расходом материалов и стоимостью. Решение полученной системы уравнений или алгоритма позволяет получить варианты электротехнической системы, соответствующие заданным техническим условиям на параметры и характеристики. [2]

После анализа характера задачи оптимизации круг методов применимых для её решения значительно сужается. Рассмотрение перечня методов, потенциально возможных для оптимизации ЭТС с элементами распределённой генерации представляется необходимым по следующим причинам:

1) Один и тот же метод не является оптимальным с точки зрения разных критериев. Предпочтения изменяются при смене критериев, что приводит к целесообразности применения другого метода.

2) Определение параметров и характеристик наилучшего варианта объекта является частной задачей оптимального проектирования. Минимизация целевой функции в условиях меняющегося характера проектирования (промышленное, исследовательское, учебное и др.) возможна с помощью разных алгоритмов поисковой оптимизации.

3) Увеличение числа и типов проектируемых объектов приводит к необходимости организации библиотеки алгоритмов оптимизации. При решении конкретной задачи из библиотеки выбирается наиболее эффективный алгоритм. Это особенно актуально для САПР ЭТС с различными источниками, как это возможно в ЭТС с элементами микрогенерации.

Вычислительные методы поиска экстремума функции используемые для построения оптимальных ЭТС со многими переменными можно разделить на две основные группы: детерминированного и недетерминированного поиска. Также существуют вычислительные процессы, синтезирующие различные методы используемые самостоятельно на том или ином этапе поиска оптимума.

Классические методы предусматривают такое математическое моделирование исследуемого объекта (ЭТС и комплексов с установками распределённой генерации), при котором все интересующие нас взаимосвязи параметров и характеристик электротехнических систем и комплексов описываются системами нелинейных уравнений (неравенств) [2] или в виде расчётного алгоритма [3].

Технически приемлемые варианты сопоставляются по заданному технико-экономическому критерию или с целью выбора оптимального варианта. В ряде случае в эти два процесса могут быть объединены с помощью специального минимизируемого функционала.

Каждому из методов математического моделирования присущи свои особенности и диапазон действия эффективной работы. Также каждому из них присущи достоинства и недостатки, которые усиливаются или ослабляются при изменении свойств решаемой задачи, т.е. конкретных условий применения. При этом ни один метод не даёт гарантированного решения оптимизационных задач и не обладает исключительно положительными свойствами. Выбор метода решения определяется характером задачи (необходимостью широкого исследования и поиска зон оптимальных решений, нахождением оптимального варианта внутри узкой зоны изменения переменных и т.д.), числом переменных, возможностями вычислительной техники и др. В этом случае оптимальным может являться метод декомпозиции и последующей синтез проектирования, в вычислительных процедурах которого используется математический аппарат разных методов, и обеспечивается тем самым наибольший вычислительный эффект.

Несмотря на довольно жёсткие ограничения, применение классических методов вычислительной математики при проектировании электротехнической системы с установками микрогенерации оказывается не только возможным, но и необходимым. В первую очередь при широком исследовании взаимного влияния параметров, геометрии и

характеристик системы и её элементов с учётом заданных условий оптимальных зон параметров и геометрических мет размещения, при получении обобщённых характеристик, а также в ряде других случаев.

Детерминированный поиск оптимального варианта может быть также организован на основе идеи динамического программирования, в котором одноэтапный процесс выбора множества параметров заменяется на многоэтапный процесс. В этом поиске на каждом этапе в качестве основного осуществляется выбор только одного или ограниченного числа параметров. Этот метод позволяет найти глобальный оптимум всех параметров при наличии локальных оптимумов, позволяет в полной мере учесть дискретный характер переменных, не требует непрерывности варьируемых параметров или функции. Единственным условием метода является независимость структуры задачи от числа шагов, а также должно быть возможно разделение задачи на n-шаговый вычислительный процесс. Вычислительная эффективность детерминированного поиска заключается в исключении из рассмотрения все возможные комбинации варьируемых параметров, не удовлетворяющие заранее заданным или скорректированным условиям.

В связи с этим представляется целесообразным использовать идею динамического программирования, т.е. интерпретировать задачу в многошаговый процесс (произвести декомпозицию), сохранив итерационную вычислительную схему и перебор всех значений переменных. При таком построении электротехнических систем на каждой этапе вычислительного процесса необходимо запоминать только те значения переменных, которые соответствуют текущему оптимальному значению функции выгоды. При многошаговой вычислительной процедуре с целью уменьшения времени расчёта необходимо разработать комплекс мер по сокращению числа рассматриваемых вариантов на каждом этапе.

Выводы

В данном исследовании произведён анализ вопроса оптимизации электротехнических систем и комплексов с распределённой генерацией и предложены варианты целевых функций. Решение полученных уравнений позволяет построить варианты электротехнической системы, соответствующие оптимальным техническим условиям на параметры и характеристики.

Список литературы

1. *Леонов Е.Н.* Интеграционные технологии при создании малых электротехнических систем и комплексов на основе методологии когенерации // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. - № 6 (133). - с. 210-212

2. *Ахтулов А.Л., Ахтулова Л.Н., Леонов Е.Н., Смирнов С.И.* Постановка задачи синтеза принципиальных схем промышленного электроснабжения средствами современных САПР / Ахтулов А.Л., Ахтулова Л.Н., Леонов Е.Н., Смирнов С.И.// Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011. – №1. – с. 110-113.

3. *Леонов Е.Н.* Использование компьютерных имитационных моделей при изучении электротехнических дисциплин в ВУЗе // Сборник материалов Всероссийской научной конференции «Развитие инженерного образования в России» и Выставки молодёжных научно-исследовательских проектов. Санкт-Петербургский образовательный форум – 2012, 28 марта – 1 апреля 2012 г. / Под.общ. ред. Коропченко А.А. – М.: РТВ-Медиа, ООО, 2012. – с. 24-25.

05.13.11

А.А. Минаев

Самарский филиал «Самарское отделение научно-исследовательского института радио»,
Филиал ФГУП НИИР – СОНИИР
г. Самара, thebestmauda@gmail.com

МЕДИАТОРНАЯ СЕТЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ

В статье описывается программное решение для распределенной диагностической сети автономных устройств сбора и обработки данных, построенное с использованием мультиагентных технологий. Меадиаторная сеть распределенной диагностики предусматривает предобработку данных на устройстве сбора информации и балансировку загрузки сети, при которой устройства сбора информации участвуют в передаче данных в качестве посредников.

Ключевые слова: *Интернет вещей, мультиагентные технологии, медиаторная сеть связи*

Введение

Задача построения программного обеспечения для самоорганизующейся сети устройств распределенной диагностики имеет высокую актуальность в контексте развития концепции Интернета вещей (Internet of Things), которая предусматривает построение вычислительной сети взаимодействующих устройств сбора и обработки информации. Такая сеть должна быть адаптивной к изменению количества узлов и связей между ними и открытой к подключению новых элементов.

Для решения этой проблемы можно предложить программное решение, основанное на реализации мультиагентной технологии взаимодействия автономных устройств связи в интегрированной информационной среде. В данной стать предлагается такое решение в виде медиаторной сети распределенной диагностики, основанное на реализации модели программных агентов-посредников.

Современные подходы к проектированию распределенной диагностической сети

Концепция Интернета вещей (Internet of things, IoT) в настоящее время получила большую популярность в среде разработчиков программного и аппаратного обеспечения распределенных систем сбора и обработки данных [1]. Распределенная архитектура современной диагностической системы с учетом концепции Интернета вещей и требований интероперабельности часто представляется в виде сети или графа, узлами которого являются программные или аппаратно-программные компоненты, способные взаимодействовать между собой путем обмена информацией в виде сообщений и обладающие автономным поведением. Технологии программирования, позволяющие реализовать управление передачей информации в такой сети, должны реализовывать принципы сетецентрического управления. Этому требованию соответствуют мультиагентные технологии [2], которые позволяют реализовать взаимодействие в открытой информационной среде по аналогии с природными механизмами самоорганизации.

В теории мультиагентных систем часто используется понятие посредника или медиатора. При этом имеется в виду специфический тип агента, предназначение которого состоит в координации гетерогенных интеллектуальных агентов [3], представлении объектов предметной области [4] (в данном случае понятия «медиатор» и «агент» близки) и реализации протоколов и механизмов передачи сообщений между агентами с целью обеспечения их взаимодействия [5].

Однако реализация специальных программных агентов для организации взаимодействия в диагностической сети представляется сложным ввиду неопределенности внутренней структуры такой сети и ее открытости к добавлению новых устройств. Таким образом, перспективным видится выделение функции посредника в виде шаблона поведения и передача ее всем агентам, участвующим во взаимодействии. Первые шаги в данном

направлении были представлены в работах [6, 7], в данной статье описывается реализация предлагаемого подхода и результаты анализа его эффективности средствами имитационного моделирования.

Архитектура медиаторной диагностической сети

Мультиагентное решение для реализации взаимодействия по обмену данными в сети распределенной диагностики представлено на рис. 1. В процессе диагностики устройства сбора информации реализуют не только свое непосредственное назначение, но и участвуют в передаче информации между сторонними устройствами.

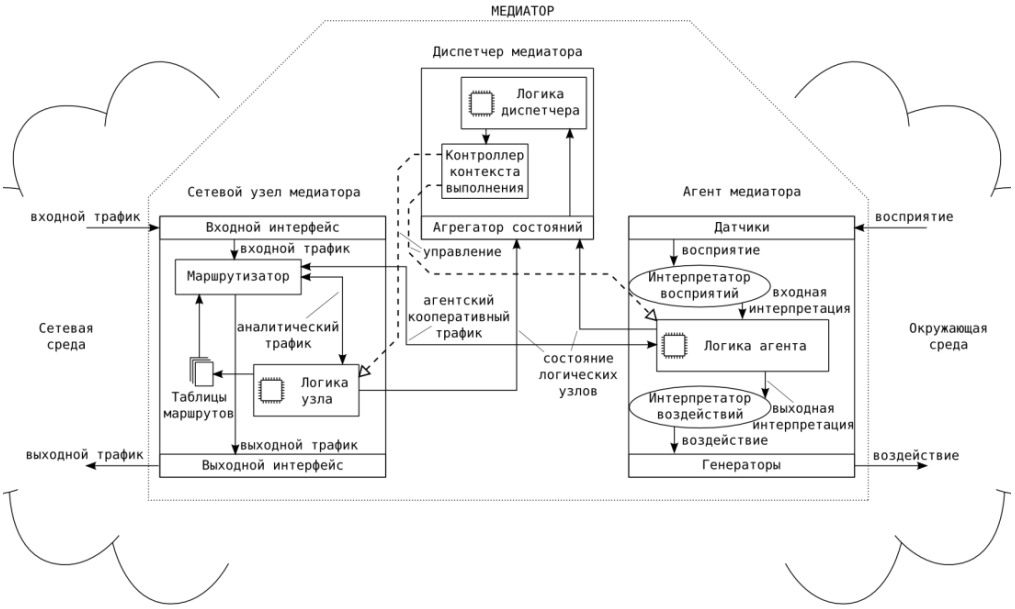


Рис. 1. Архитектура агента-медиатора в сети распределенной диагностики

Клиент медиаторной сети предоставляет пользователю прозрачный сервис передачи данных между остальными узлами независимо от их географического и топологического местоположения. Возможность прозрачной передачи информационных потоков между клиентами обеспечивается ячеистой архитектурой рассматриваемой сети, специализацией ее структурных компонентов, а также адаптивными алгоритмами маршрутизации применяемого стека протоколов передачи данных. Применяемые алгоритмы и протоколы реализуют возможность формирования динамичной топологии медиаторной сети на физическом уровне, структура которой определяется качественными параметрами связи между узлами и текущих коммуникационных задач.

Реализация медиаторной сети для распределенной диагностики

Представим распределенную диагностическую сети в виде набора взаимодействующих датчиков разного назначения, объединенных процессом мониторинга ряда показателей. Процесс мониторинга регулируется датчиками самостоятельно, а результат этого мониторинга собирается в единый центр сбора и обработки данных (ЦОД). Задачей такой сети является обнаружение исключительных ситуаций и передача данных в ЦОД

Реализация шаблона медиатора каждым из узлов диагностической сети позволяет обеспечить автономность и про-активность датчиков при передаче данных. В такой сети агенты-медиаторы анализируют сигнал с собственных датчиков, вырабатывают информацию для центра сбора и обработки данных ЦОД, передают ее, а также участвуют в транспортировке информации от аналогичных агентов.

В качестве характеристик медиаторной сети следует оценивать: точность детектирования, определяемую отношением количества исключительных ситуаций, которые были успешно переданы в ЦОД к их общему количеству; среднее время детектирования исключительной ситуации; среднеквадратическое отклонение времени детектирования исключительной ситуации и энергоэффективность, определяемая суммой энергозатрат всех агентов медиаторной сети.

В процессе выполнения текущих задач агент-медиатор производит планирование собственной активности. Планирование заключается в распределении задач детектирования исключительных ситуаций и сетевого анализа по времени на заданный интервал. В результате планирования формируется стек ожидания агента-медиатора.

При запуске анализа сигналов от датчиков агента выполняются алгоритмы детектирования исключительных ситуаций. При детектировании исключительной ситуации инициируется задача ее обработки, которая в свою очередь реализует регистрацию события, а также генерирует сообщение для ЦОД. Анализ состояния сетевого интерфейса осуществляет оценку загруженности входного и выходного буферов, а также инициирует транспортные виды задач по приему, отправке и трансляции сообщения.

Логическая структура агента-медиатора представлена на рис. 2.

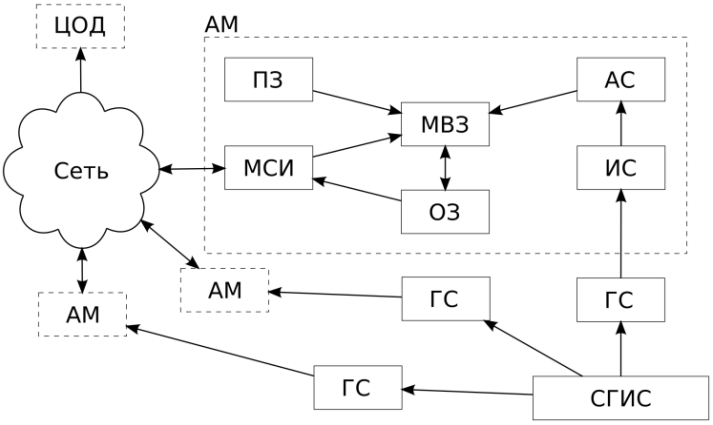


Рис. 2. Логическая структура агента-медиатора

Контроль за поступлением входного потока событий в модель осуществляет система генерации исключительных ситуаций (СГИС). СГИС осуществляет управление генераторами сигнала (ГС), которые формируют входной сигнал для измерительной системы (ИС) каждого агента-медиатора (АМ). ИС каждого агента-медиатора принимает сгенерированную входную последовательность и формирует входные данные для анализатора сигнала (АС). АС выполняет алгоритм детектирования исключительной ситуации и при ее возникновении генерирует задачу ее обработки, которая в свою очередь поступает во входной буфер модуля выполнения задач (МВЗ). МВЗ осуществляет обработку всех типов задач агента-медиатора с учетом их приоритета, длительности выполнения и энергоемкости. Результаты выполнения передаются в обработчик задач (ОЗ), где содержится логика реагирования агента на возникновение событий. В результате выполнения задачи обработки исключительной ситуации ОЗ генерирует сообщение для центра обработки данных, которое попадает в выходной транспортный буфер модуля сетевого интерфейса (МСИ). МСИ обрабатывает входной и выходной буфера в результате выполнения задачи анализа состояния интерфейса и осуществляет непосредственное взаимодействие с инфраструктурой передачи данных. Инициатором задач анализа датчиков и состояния интерфейса является планировщик задач (ПЗ), который генерирует план выполнения на заданный период времени по определенному алгоритму.

Результаты имитационного моделирования

Для исследования предложенного программного решения была разработана автоматизированная система имитационного моделирования, позволяющая строить различные диагностические сети и исследовать возможности реализации посреднических функций для повышения эффективности их функционирования при решении задач сбора и обработки данных. На рис. 3 приведен пример медиаторной сети, иллюстрирующий возможную сложность решаемой задачи.

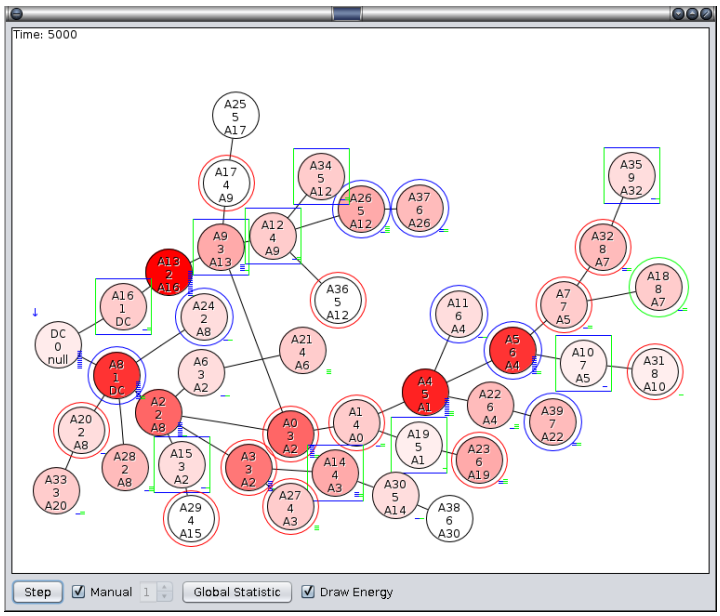


Рис. 3. Имитационная модель медиаторной сети распределенной диагностики

Отметим, что при построении такой сети на практике должна решаться задача проектирования, которая должна предусматривать все возможные перемещения датчиков в пространстве и их реакцию на возникающие события в реальном времени. Внедрение предлагаемой модели позволяет избежать необходимости подробного расчет за счет адаптивности элементов сети к изменяющимся условиям работы.

Результаты моделирования для медиаторной сети, содержащей 10 узлов 2 связи с ЦОД приведены на рис. 4: на графиках представлено изменение среднего времени идентификации и передачи исключительных ситуаций (в шагах модельного времени). Слева приведен результат моделирования при статическом планировании без учета характера загрузки агентов, а справа – применение алгоритма адаптивного планирования с учетом характера загрузки агентов. Таким образом, подтверждается снижение времени идентификации и передачи исключительных ситуаций при реализации медиаторных функций устройствами сбора данных.

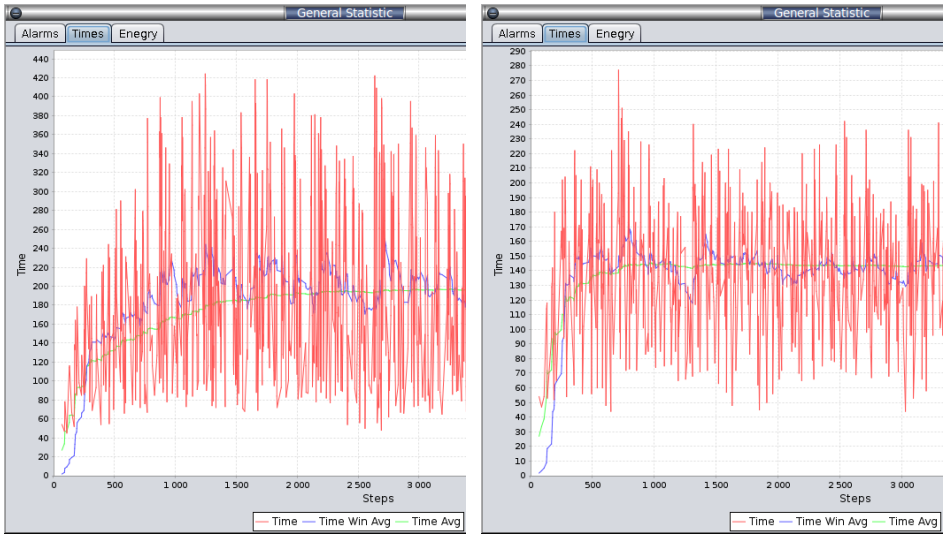


Рис. 4. Результаты имитационного моделирования

Список литературы

1. *Сарьян В.К., Сущенко Н.А., Дубнов И.А., Дубнов Ю.А., Сахно С.В., Лутохин А.С.* Прошлое, настоящее и будущее стандартизации интернета вещей // Труды НИИР, 2014, № 1. – с. 2 – 7
2. *Городецкий В.И.* Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации. Известия РАН. Теория и системы управления, 2012, № 2. – с. 92 – 120
3. *Maturana F.P., Norrie D.H.* A generic mediator for multi-agent coordination in a distributed manufacturing system. Systems, Man and Cybernetics, IEEE International Conference, 1995. Vol. 1. – pp. 952 – 957
4. *Lin H.* Architectural design of multi-agent systems: technologies and techniques / ed. Hong Lin, Idea Group Inc (IGI) Global, 2007. – 421 p.
5. *Pinninck A.P., Sierra C., Schorlemmer W.M.* A multiagent network for peer norm enforcement / Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2010, № 21(3). – pp. 397 – 424
6. *Ivaschenko A., Minaev A.* Multi-agent solution for a self mediator sensor network // Proceedings of the European Simulation and Modeling Conference 2014 (ESM 2014), FEUP, Porto, Portugal, EUROSIS-ETI. – pp. 209 – 212
7. *Ivaschenko A., Minaev A.* Multi-agent solution for adaptive data analysis in sensor networks at the intelligent hospital ward // Lecture Notes in Computer Science LNCS 8610, 2014. – pp. 453 – 463

05.13.01

Д.В. Моисеев к.т.н.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра системного анализа и управления, Аэрокосмический факультет,
Москва, moiseev801@mail.ru

СУЩЕСТВОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПОСТОЯНСТВА ЗАМКНУТЫХ МАРШРУТОВ НАИСКОРЕЙШЕГО ОБЛЕТА ЗАДАННОГО НАБОРА ТОЧЕК В ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ВЕТРА

В статье показано, что все множество значений параметров постоянного ветра, которое может иметь место в конкретной зоне полета легкого беспилотного летательного аппарата, может быть представлено состоящим из подмножеств, каждому из которых соответствует определенный замкнутый маршрут наискорейшего облета заданного набора точек. Эти подмножества соответствуют совокупности областей в системе координат «скорость ветра - направление ветра». Геометрия, расположение и количество таких областей наглядно отражают «природу» влияния ветра на решение задачи поиска замкнутых наискорейших маршрутов полета в поле постоянного ветра.

Ключевые слова: *маршрут полета, наискорейший облет точек, легкий беспилотный летательный аппарат, задача коммивояжера.*

Задача предполетного формирования наискорейшего маршрута облета набора точек, известным образом расположенных в зоне полета, обсуждалась исследователями неоднократно [1-6]. Актуальность этой темы очевидна и обусловлена стремлением наиболее рационально использовать возможности беспилотного летательного аппарата (БПЛА) за счет оптимального формирования плана полета. При решении задачи маршрутизации, существенным для учета фактором является ветер в зоне полета. Особо заметную роль оказывает ветер на формирование маршрута полета легких БПЛА, поскольку воздушная скорость таких аппаратов относительно невелика. Однако, решая задачу оптимальной маршрутизации в том, или ином варианте постановки, исследователи не обсуждали вопросы о формировании и изучении целостной картины влияния ветра на решение задач маршрутизации полета. Впервые эти вопросы были рассмотрены в работе [7]. Было высказано, и подтверждено соответствующими расчетами, предположение о существовании специфических областей значений параметров (скорости и направления) постоянного ветра. Специфика этих областей заключается в том, что для любой пары значений параметров ветра, соответствующих одной из точек такой области, наискорейшим является один и тот же маршрут облета заданного набора точек.

В практическом плане важность расчета указанных областей подтверждена тем, что они были использованы как инструмент при построении ряда методик маршрутизации. Например, методики планирования полета легкого летательного аппарата по замкнутому маршруту с учетом статистических данных о ветре в зоне полета, или нахождения максимальной скорости ветра в зоне полета, до которой, не учитывая влияние ветра на вид наискорейшего маршрута полета БПЛА, можно с заданной вероятностью гарантировать оптимальность находимого маршрута [6]. При этом целостного изложение вопросов, связанных с существованием, характером и свойствами упомянутых областей в литературе фактически не было. Данная статья до некоторой степени восполняет этот пробел.

Дальнейшие построения будут рассматриваться применительно к задаче оптимальной маршрутизации полета легкого БПЛА, техническая постановка которой сводится к следующему. Необходимо найти замкнутый, связный и не имеющий петель маршрут наискорейшего облета набора точек, имеющих известное местоположение на земной поверхности. При облете точек аппарат движется на постоянной высоте с постоянной воздушной скоростью, значение которой известно. Направление и скорость ветра известны и

постоянны для всей зоны и времени полета. Понятно, что для замкнутого маршрута знание того какая именно из точек является точкой старта и финиша не принципиально. Допущение о том, что направление и скорость ветра постоянны для всей зоны и времени полета вполне справедливо для легких БПЛА, для которых характерен сравнительно небольшой радиус действия и непродолжительный по времени полет. Предполагается, что аппарат способен выдерживать курс на очередную точку в соответствии с планом полета, несмотря на действие ветра. Очевидно, что приведенная выше формулировка задачи совпадает с формулировкой замкнутой задачи коммивояжера [8]. Действительно, требуется найти замкнутый маршрут обхода всех заданных точек без повторного захода в них, причем за минимум времени. Элементами матрицы коммивояжера являются длительности перелета между парами точек. Расчет элементов матрицы коммивояжера проводится с учетом значений параметров ветра в зоне полета по формулам, приведенным в [4]. Время полета по маршруту рассчитывается как сумма длительностей перелета между точками, связываемыми маршрутом. При этом предполагается, что увеличение продолжительности полета в связи с изменениями курса для легкого БПЛА за счет его высокой маневренности пренебрежимо мало.

Для позиционирования точечных объектов используется связанная с земной поверхностью прямоугольная система координат Oxy. На плоскости, определяемой этой системой координат, направление ветра будем задавать углом отсчитываемым от оси Ox в направлении против часовой стрелки в пределах от 0 до 180 градусов и в направлении по часовой стрелке в пределах от 0 до -180 градусов. Таким образом, если угол направления ветра составляет 180 или -180 градусов, то речь идет об одном и том же направлении ветра противоположном направлению оси Ox.

Рассмотрим в качестве иллюстративного примера простейшую задачу маршрутизации для четырех точек, координаты которых приведены в таблице.

Таблица. Координаты точек маршрута

Номер точки	1	2	3	4
x [м]	10200	3000	9000	20000
y [м]	2000	8000	7500	20000

Как видно на рисунке 1 для рассматриваемой задачи возможны три конфигурации маршрута облета.

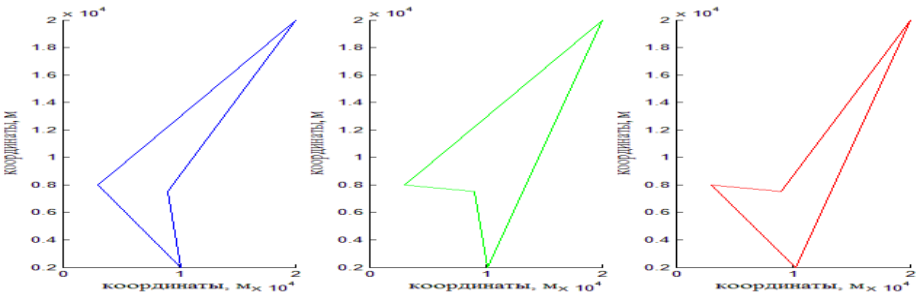


Рис. 1 – Возможные конфигурации маршрута облета

Маршрут здесь изображен в виде ломаной, соединяющей все заданные точки. При этом всего возможных маршрутов с учетом направления облета в рассматриваемом случае будет (4 – 1)!=3!= 6. Однако маршруты, отличающиеся направлением облета, интереса не представляют, поскольку, как было доказано в [9], время облета по часовой и против часовой стрелки для маршрута одной конфигурации в рамках рассматриваемой постановки совпадает. Для большей наглядности поставим каждому из потенциально оптимальных маршрутов в соответствие определенный цвет. Маршруту 1 → 2 → 4 → 3 → 1 пусть соответствует синий цвет, маршруту 1 → 3 → 2 → 4 → 1 – зеленый и, наконец, маршруту 1 → 2 → 3 → 4 → 1 – красный. При дальнейших расчетах воздушную скорость БПЛА будем считать равной 20 м/с.

Введем в рассмотрение систему координат, в которой по горизонтальной оси будет отложено значение угла направления ветра, а по вертикальной оси его скорость. Каждой точке на этой плоскости соответствует определенное значение скорости и направления ветра. Решая задачу оптимальной маршрутизации для конкретной пары значений параметров ветра, найдем соответствующий ей оптимальный, то есть наискорейший маршрут полета. Нанесем на плоскость точку, цвет которой соответствует найденному оптимальному маршруту. Повторяя процедуру нахождения оптимальных маршрутов для всех возможных пар значений параметров ветра, заполним плоскость разноцветными точками. Полученная в результате картина приведена на рисунке 2.

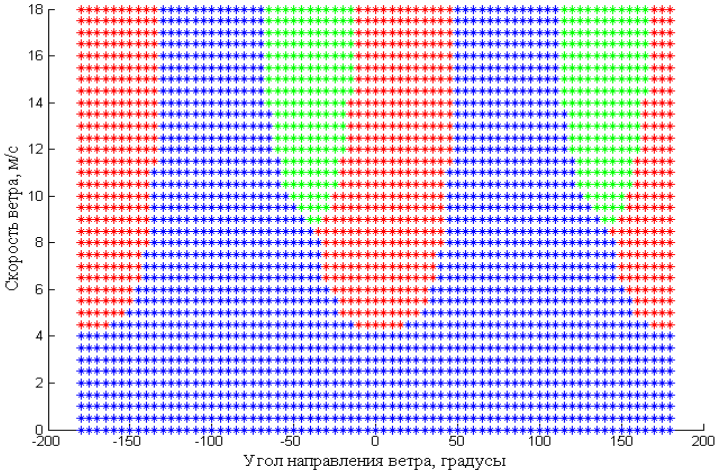


Рис. 2 – Области постоянства маршрутов для заданного набора точек

Теперь становится очевидно, что разноцветные точки оказались размещены не хаотически, а образуют определенные области. Например, синим цветом выделено то множество значений параметров ветра, при которых оптимальным является «синий» маршрут. Полученные таким образом области будем называть областями постоянства решений задачи маршрутизации, или областями постоянства маршрутов облета заданного набора точек. Представляет интерес зависимость значений времени наискорейшего облета заданного набора точек от значений параметров ветра. Такая поверхность для рассматриваемой задачи приведена на рисунке 3.

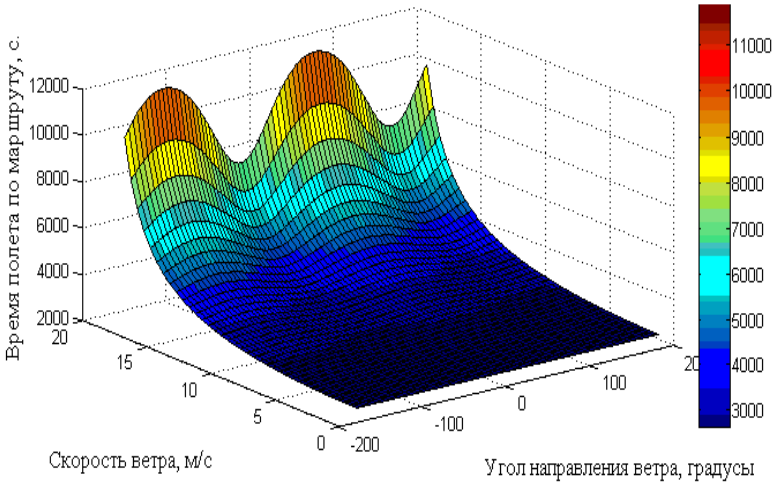


Рис. 3 – Время наискорейшего облета заданного набора точек в зависимости от значений параметров ветра

Анализ результатов рассмотрения примера, отраженных на рисунках 2 и 3 позволяет выявить ряд закономерностей, связанных с влияния ветра на решение задачи маршрутизации рассмотренного типа. Сформулируем основные из них.

1. Характер поверхности, приведенный на рисунке 3, показывает, что наискорейший облет заданного набора точек достигается при отсутствии ветра. Другими словами, при полете по замкнутому маршруту ветер любой скорости независимо от его направления всегда приводит к увеличению времени полета даже по наискорейшему маршруту. Строгое доказательство этого утверждения дано в [9].

2. На рисунке 3 хорошо видно, что для любого направления ветра продолжительность наискорейшего облета заданного набора точек растет с увеличением скорости ветра. Причем темпы этого роста увеличиваются по мере приближения значения скорости ветра к воздушной скорости БПЛА.

3. На плоскости «направление ветра – скорость ветра» существует область, объединяющая точки, соответствующие таким значениям параметров ветра, при которых наискорейший маршрут совпадает с наискорейшим маршрутом, полученным в ситуации отсутствия ветра. Размеры этой области фактически определяют насколько существенно влияние ветра на наискорейший маршрут для определенного набора точек, соединяемых маршрутом при данной воздушной скорости БПЛА. Или, с другой стороны, показывает в какой мере допустимо пренебрегать учетом ветра при нахождении наискорейшего маршрута полета.

4. Время облета по наискорейшему маршруту заданного набора точек и сам этот наискорейший маршрут для ветра одной и той же скорости и диаметрально противоположного направления одинаковы. Это отражается в цветовой симметрии точек, образующих области на рисунке 2 и поверхность на рисунке 3 и отстоящих друг от друга на 180 градусов по горизонтали. Строгое доказательство этого утверждения дано в [9].

Программа, обеспечивающая построение областей, изображенных на рисунке 2, и поверхности, приведенной на рисунке 3, написана на языке программирования среды MATLAB. Обсуждение связанных с этим алгоритмических и вычислительных проблем выходит за рамки статьи. Фактически задача построения областей постоянства маршрутов сводится к многократному решению задачи маршрутизации, то есть задачи коммивояжера, для всевозможных пар значений параметров ветра в зоне полета. Обсуждение некоторых вычислительных аспектов решения различных вариантов задач маршрутизации полета и оценки потребного времени вычислений можно найти в [10].

Заключение

1. Сформулирован и описан подход к представлению множества значений параметров постоянного ветра в зоне облета легким БПЛА заданного набора точек, состоящим из подмножеств (областей), объединяющих точки, для которых наискорейшие маршруты облета совпадают.

2. Выявлена определенная симметрия расположения упомянутых областей постоянства наискорейших маршрутов облета. Это связано с тем, что для ветров противоположного направления наискорейший маршрут облета фиксированного набора точек и его продолжительность будут одинаковы.

3. Существует область, для которой наискорейший маршрут облета заданных точек можно находить, не принимая в расчет наличия ветра в зоне полета.

Список литературы

1. *Моисеев В.С., Абсалямов М.Н., Хакимуллина А.Р.* Оптимизация траекторий летательного аппарата, выполняющего контроль наземной обстановки. Изв. Вузов. Авиационная техника, 2001. №1. С. 16-23.

2. *Nicola Ceccarelli, John J. Enright, Emilio Frazzoli, Steven J. Rasmussen and Corey J. Schumacher.* Micro UAV Path Planning for Reconnaissance in Wind. Proceedings of the 2007 American Control Conference. New York City, USA, July 11-13, 2007.

3. *Лебедев Г.Н., Ефимов А.В., Мирзоян Л.А.* Метод маршрутизации облета неподвижных объектов при мониторинге наземной обстановки на основе динамического программирования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 1. С. 63-70.

4. *Таргамадзе Р.Ч., Моисеев Д.В., Фам С.К.* О рациональном выборе замкнутого маршрута полета легкого летательного аппарата с учетом прогноза ветра. Вестник ФГУП НПО им. С.А.Лавочкина. 2012. № 3. С. 76-83.

5. *Подлипьян П.Е., Максимов Н.А.* Многофазный алгоритм решения задачи планирования полета группы беспилотных летательных аппаратов. Электронный журнал «Труды МАИ», 2011. Выпуск № 43. http://www/mai.ru.

6. *Фам С.К.* Методика планирования полета легкого беспилотного летательного аппарата: Дис. … канд. техн. наук. М., 2013. – 155 с.

7. *Моисеев Д.В.* Анализ устойчивости оптимальных маршрутов полета БПЛА с учетом прогноза ветра // Труды XVII Международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации» - СПб: РИЦ ГУАП, 2008. – С. 172.

8. *Сигал И.Х., Иванова А.П.* Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, - 240с.

9. *Фам С.К., Моисеев Д.В.* Свойства оптимальных замкнутых маршрутов полета легкого самолета с учетом прогноза ветра // Электронный журнал “Труды МАИ”, 2012, № 52, www.mai.ru/science/trudy/.

10. *Чинь В.М.* и др. Маршрутизация полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра на основе решения разновидностей задачи коммивояжера // Электронный журнал “Труды МАИ”, 2015, № 79, www.mai.ru/science/trudy/.

05.07.05

П.А. Мошков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Москва, moshkov@mai.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ЛЕГКИХ ВИНТОВЫХ САМОЛЕТОВ НА МЕСТНОСТИ

В статье рассмотрена возможная классификация источников шума легких самолетов с винтомоторными силовыми установками (СУ). Дан краткий обзор механизмов генерации шума воздушным винтом и авиационным поршневым двигателем. Спектр излучения силовой установки легкого винтового самолета включает в себя гармоническую и широкополосную составляющие, источниками которых являются воздушный винт и поршневой двигатель. Показаны факторы, влияющие на роль поршневого двигателя в суммарном шуме самолета на местности.

Ключевые слова: *воздушный винт, шум воздушного винта, шум авиационной поршневой силовой установки, шум легких винтовых самолетов.*

В связи с интенсивным развитием легкомоторной авиации в нашей стране и за рубежом возникла проблема дальнейшего совершенствования данного вида авиационной техники. Одним из важнейших параметров, во многом определяющим конкурентоспособность современного легкого самолета, является уровень шума, создаваемый самолетом на местности [1].

При решении задач прогнозирования и снижения шума легких винтовых самолетов (ЛВС) на местности необходимо в первую очередь иметь представление об источниках шума и их роли в суммарном излучении.

Согласно нормам ИКАО к легким винтовым самолетам относятся самолеты с винтовыми движителями с величиной взлетной массы не более 8168 кг [1]. Основным источником шума ЛВС на местности является силовая установка, в состав которой входят двигатель (поршневой, турбовинтовой) и винтовой движитель (одиночный воздушный винт, винт в кольце) в толкающей или тянущей компоновках (рис. 1). Также в классификации источников шума ЛВС на местности можно отдельно выделить шум агрегатов силовой установки и шум обтекания элементов планера самолета. В данной работе более подробно рассматривается классификация источников шума ЛВС с винтомоторными силовыми установками, включающими один или два поршневых двигателя и одиночные воздушные винты различной конструкции и компоновки.

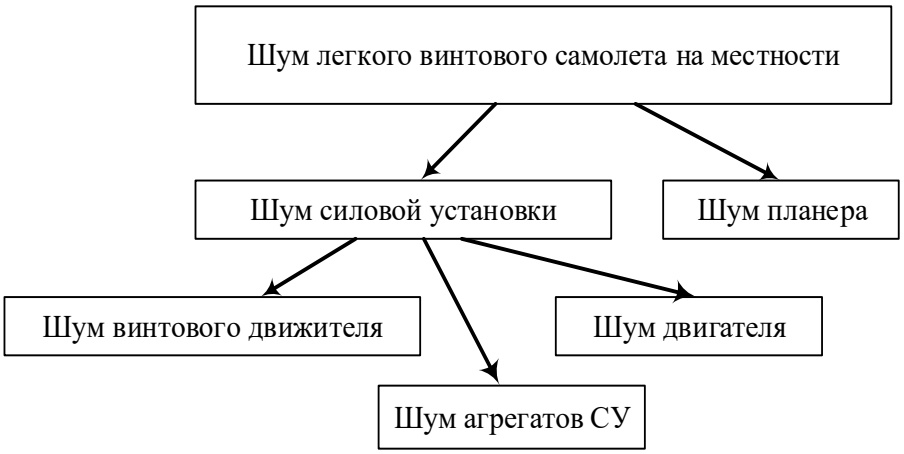


Рис. 1 - Классификация источников шума легкого винтового самолета на местности

Воздушный винт

Акустическое излучение воздушного винта является сложным по своей структуре, а причины, вызывающие генерацию акустического излучения, весьма разнообразны. Помимо того, что лопасти винта оказывают периодическое силовое воздействие на окружающую среду и это приводит к излучению гармонической составляющей *шума вращения*, с лопастей винта по всей их длине происходит срыв потока, в результате чего за лопастями образуется сплошная вихревая пелена, которая служит источником *широкополосного* (*вихревого) шума*. Кроме того, лопасти винта при его вращении могут периодически проходить вблизи каких-либо элементов конструкции самолета или же попадать в турбулентный след за этими элементами. При этом генерируется излучение в виде периодической последовательности импульсов давления, которой соответствует гармонический спектр.

Гармоническую составляющую шума называют обычно *шумом вращения* [2-4] (рис. 2). Частоты отдельных гармоник шума вращения винта кратны произведению частоты вращения винта (n, об/с) на число лопастей (z): f_m=mnz, где f_m — частота m-й гармоники. Шум вращения, в свою очередь, можно разделить на две составляющие. Одна из них обусловлена воздействием на среду стационарных и нестационарных относительно лопастей аэродинамических нагрузок. Стационарные аэродинамические нагрузки обусловлены постоянным перепадом статического давления на поверхности лопасти, в результате чего возникают сила тяги и сила сопротивления вращению винта. Нестационарные силы возникают при взаимодействии лопастей винта с неоднородным потоком на входе. Составляющие шума винта от аэродинамической нагрузки эквивалентны акустическому диполю. Причем нестационарные нагрузки на лопасти служат источником как гармонического, так и широкополосного шума. В зарубежной литературе шум от стационарных и нестационарных аэродинамических сил называют также шумом от установившейся (steady load noise) и неустановившейся нагрузки (unsteady load noise).

Вторая составляющая *шума вращения* связана с конечной толщиной лопасти. Лопасть при вращении вытесняет из окружающей среды объем, равный объему лопасти, который затем вновь заполняется средой. Происходит периодическое вытеснение объема среды в любой фиксированной точке пространства, находящейся в области диска винта. Таким образом, элементарные объемы в каждой точке пространства в области диска винта пульсируют с той же частотой, что и частота шума вращения при воздействии на среду установившихся аэродинамических нагрузок на лопасти. Эту составляющую шума вращения называют обычно *объемным шумом* или *шумом вытеснения* (рис 2). *Шум вытеснения* эквивалентен простому акустическому источнику - монополю. Интенсивность *шума вытеснения* зависит от толщины лопасти, числа лопастей и от относительной скорости потока, обтекающего лопасть.

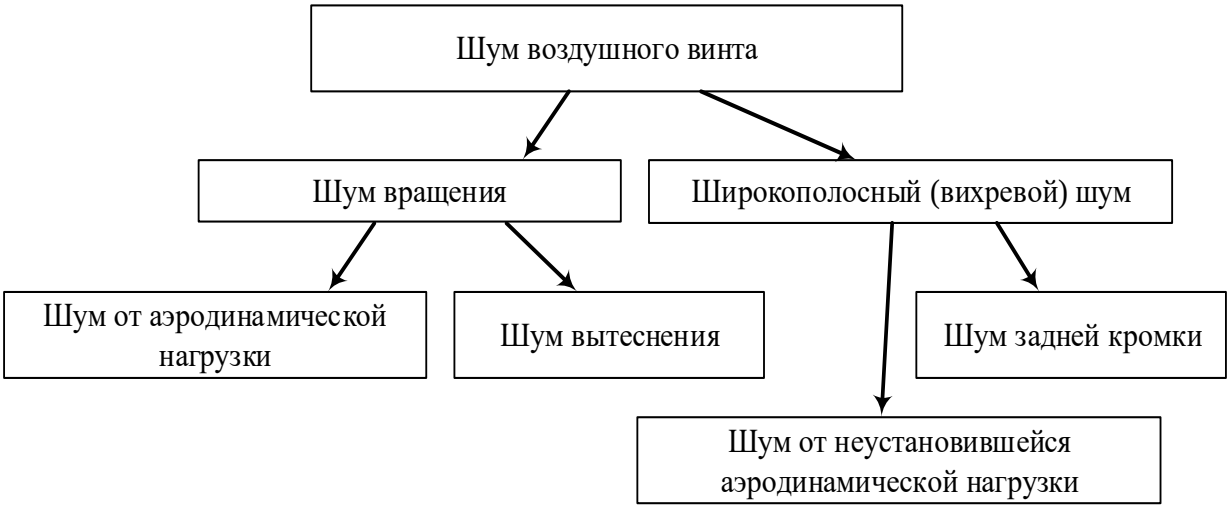


Рис. 2 – Классификация источников шума воздушного винта

Широкополосный (вихревой) шум (рис. 2), образующийся в результате пульсаций аэродинамического давления на поверхности лопасти и турбулентных пульсаций скорости набегающего на диск винта потока и потока в вихревой пелене за лопастями винта, имеет сплошной спектр, поскольку пульсации давления и скорости носят случайный характер, а их распределение по частоте является непрерывным. При работе винта с каждой лопасти сходит сплошная и непрерывная по радиусу вихревая пелена. Эту составляющую широкополосного шума в зарубежной литературе обычно называют шумом задней кромки (trailing edge noise). Широкополосный шум воздушного винта эквивалентен акустическому диполю.

Соотношения между уровнями гармонических составляющих и широкополосного шума зависят от геометрических и аэродинамических характеристик винта, режима его работы, от степени неоднородности потока перед винтом [5].

Авиационный поршневой двигатель

Во время работы авиационный поршневой двигатель генерирует шум, который с учетом механизмов образования и распространения разделяют на аэродинамический и структурный [6] (рис.3).

Шум двигателя обусловлен рядом факторов, важнейшими из которых являются:

- аэродинамические процессы, сопровождающие сгорание топливовоздушной смеси в цилиндрах и взаимодействие воздушного и газового потоков в системах впуска и выхлопа двигателя,
- процессы механического взаимодействия между собой движущихся элементов конструкции.

Этот шум распространяется в окружающую среду через системы впуска и выхлопа и через корпус двигателя. Структурный шум образуется, в основном, при механических взаимодействиях элементов конструкции между собой и излучается через наружные поверхности двигателя

Шум, распространяющийся через выхлопной тракт (шум выхлопа), формируют различные процессы. Низкочастотная и среднечастотная части спектра (до 500 Гц) излучения соответствуют процессам, происходящим в камерах сгорания цилиндров. Уровень звукового давления на выходе из выхлопной трубы достигает на отдельных частотах 110-120 дБ. Частоты, которым соответствует излучение звука максимальной интенсивности, связаны с основной частотой работающего двигателя и ее гармониками. Высокочастотная часть спектра (1000 Гц и более) обязана своим происхождением турбулентности, возникающей в газовоздушных трактах двигателя [7].

Шум впуска обусловлен колебательным движением газов во впускном коллекторе и сопровождается значительными колебаниями амплитуды давления. Основное влияние на уровень шума впуска оказывает величина давления во входном коллекторе, которая зависит от режима работы двигателя (увеличение частоты вращения на 1000 об/мин приводит к повышению уровня звукового давления на впуске на 5—15 дБ) [7].

Шум, излучаемый двигателем через корпус (структурный шум), обусловлен, с одной стороны, рабочим процессом в цилиндрах, с другой стороны, механическими процессами (удары клапанов, перекладка поршней, зубчатыми зацеплениями приводов и т.д.).

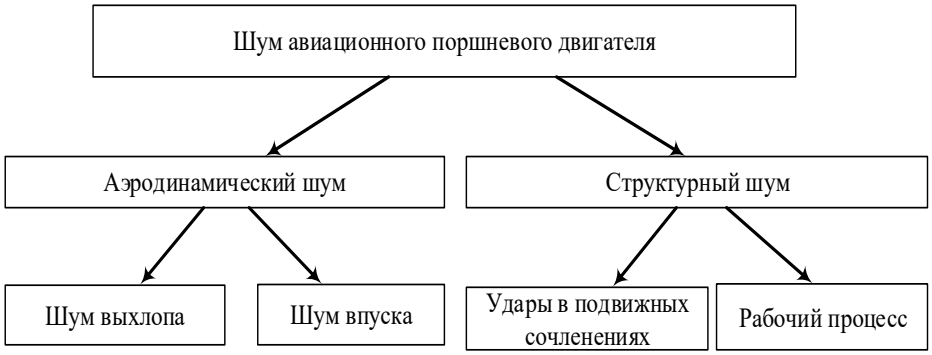


Рис.3 – Классификация источников шума авиационного поршневого двигателя

Незаглушенный аэродинамический шум существенно превосходит по интенсивности структурный шум [8]. Однако, при наличии в системах газообмена эффективных шумоглушащих устройств влияние составляющих аэродинамического шума на общий уровень акустического излучения поршневого двигателя снижается и определяющим источником может стать структурный шум [6].

На высоких частотах роль периодических процессов в формировании спектра акустического излучения двигателя заметно ослабевает, поскольку более значительную роль в суммарном акустическом излучении начинают играть нерегулярные процессы случайного происхождения. В частности, для шума выхлопа может оказаться существенной вихревая составляющая. В самом деле, выхлопной тракт и тракт впуска двигателя формируют в среде последовательность импульсов давления, частотный спектр которой, в соответствии с существующей теорией спектров излучения [9], представляет собой комбинацию гармонических и широкополосной составляющих.

Гармонические составляющие шума поршневого двигателя кратны частоте следования вспышек в цилиндрах двигателя. В отечественной литературе дискретные составляющие шума поршневого двигателя, как правило, не разделяют на гармоники шума цилиндра и гармоники шума двигателя. Их называют одним общим термином - «двигательные» (или «моторные») [10] гармоники. В свою очередь, очень важно и для понимания механизмов генерации шума многоцилиндровым поршневым двигателем, и для определения методов снижения его интенсивности, определение источника и типа гармоники излучения с максимальной интенсивностью.

Частоты дискретных составляющих в шуме двигателя определяются соотношениями:

- гармоники шума одиночного цилиндра - $f_ц = \frac{kn_{кв}}{30\tau}$;
- гармоники шума двигателя (всех цилиндров) – $f_д = k\, f_ц\, i$;

где k – номер гармоники, $n_{кв}$ – частота вращения коленвала двигателя (об/мин), i – число цилиндров в двигателе, τ- тактность двигателя.

Спектральные характеристики акустического поля СУ ЛВС

На рис. 4 представлен узкополосный спектр уровней звукового давления, измеренный при работе СУ самолета «МАИ-223М» в статических условиях [11]. Номинальная частота вращения коленвала двигателя - 4800 об/мин. Измерения выполнены микрофоном, расположенным на уровне земной поверхности на расстоянии 30 метров от проекции втулки винта на земную поверхность в направлении (φ) 105° (задняя полусфера).

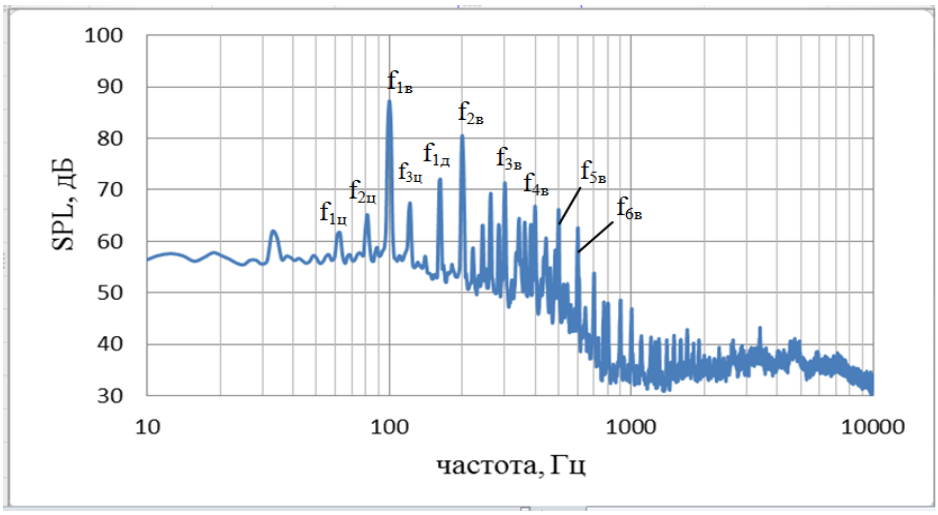


Рис. 4 – Узкополосный спектр уровней звукового давления в диапазоне частот 10-10000Гц с шириной полосы 1,56 Гц при работе СУ самолета в статических условиях (4800 об/мин, φ=105°)

В спектре можно выделить три характерных диапазона частот: диапазон частот ниже первой гармоники шума вращения винта (ниже 100 Гц), где присутствует широкополосное излучение, а также гармонические составляющие на частотах, кратных частоте следования вспышек в цилиндрах двигателя; область частот 100-1000 Гц, где наибольшая спектральная плотность соответствует гармоническому излучению от винта и от двигателя; и область частот свыше 1000 Гц, где уровни гармонических составляющих уже не выделяются на фоне широкополосного шума.

На рис. 4 обозначены первые шесть гармоник на частотах кратных частоте следования лопастей воздушного винта ($f_{1в}$, $f_{2в}$, $f_{3в}$, $f_{4в}$, $f_{5в}$, $f_{6в}$), а также первые три гармоники на частотах следования вспышек в цилиндре ($f_{1ц}$, $f_{2ц}$, $f_{3ц}$) и первая гармоника шума двигателя ($f_{1д}$), которая фактически является 4-й цилиндровой гармоникой.

Спектр акустического излучения СУ ЛВС включает в себя широкополосную и гармоническую составляющие. Источниками гармонического излучения являются: воздушный винт, камеры сгорания и системы выхлопа и впуска двигателя. Вероятными источниками, определяющими широкополосное излучение СУ самолета «МАИ-223М» в области высоких частот (свыше 1000 Гц), являются вихревая пелена за лопастями винта, а также обтекание воздухозаборника масляного радиатора двигателя индуктивным потоком от винта.

О роли поршневого двигателя в суммарном шуме СУ ЛВС

Роль поршневого двигателя в суммарном шуме СУ самолета зависит от множества факторов, связанных с конструктивными особенностями, особенностями организации рабочего цикла в двигателе, а также от режима работы СУ. В целом, можно выделить следующие основные факторы, влияющие на вклад поршневого двигателя в суммарный уровень шума ЛВС на местности:

- режим работы,
- тактность двигателя,
- наличие глушителей в трактах впуска и выхлопа,
- капотирование двигателя,
- рабочий объем,
- наддув,
- степень сжатия,
- удельная, литровая и эффективная мощности двигателя (нагрузка),
- тип смесеобразования,
- способ воспламенения и т.д.

В частности, ранее было установлено [12], что в шуме СУ, включающей двухтактный поршневой двигатель и винтокольцевой движитель в толкающей компоновке, излучение от поршневого двигателя без глушителей шума выхлопа и впуска при повышенных режимах работы фактически определяет акустическое поле СУ самолета.

Также было установлено [13], что заключение двигателя в капот приводит к существенному снижению уровня звуковой мощности основного тона двигателя и может быть рассмотрено как один из конструктивных способов снижения шума легких винтовых самолетов на местности.

Заключение

Таким образом, рассмотрена возможная классификация основных источников шума легких винтовых самолетов на местности. Дан краткий обзор механизмов генерации шума воздушным винтом и авиационным поршневым двигателем. Показано, что спектр излучения силовой установки легкого винтового самолета включает в себя гармоническую и широкополосную составляющие, источниками которых являются воздушный винт и поршневой двигатель. Обсуждаются факторы, влияющие на роль поршневого двигателя в суммарном шуме самолета на местности.

Список литературы

1. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к конвенции о международной гражданской авиации. Том 1. Авиационный шум. Издание шестое. ИКАО. 2011.
2. *Гутин Л.Я.* О звуковом поле вращающегося винта// ЖТФ, 1936, т.6, вып. 5, С. 899-909.
3. *Непомнящий Е.А.* Результаты исследования шума пропеллера// Успехи физических наук, 1945, Т. XXVII, вып. 1, С 72-95.
4. Исследование шума воздушного винта. Сборник переводов под ред. *Непомнящего Е.А.* – М.: ОБОРОНГИЗ, 1943. – 118 с.
5. *Мунин А.Г., Самохин В.Ф., Шипов Р.А. и др*. Авиационная акустика. Часть 1. Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов/ Под общей редакцией *Мунина А.Г.* - М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
6. Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие/ *Шатров М.Г., Яковенко А.Л., Кричевская Т.Ю*. – М.: МАДИ, 2014. – 68 с.
7. *Иванов Н.И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.
8. Справочник по технической акустике: Пер. с нем./ Под ред. *Хекла М. и Мюллера Х.А*. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
9. *Харкевич А.А.* Спектры и анализ. – М.: Физматгиз, 1962. – 236 с.
10. *Малкин И.В.* Разработка технических средств снижения шумовых излучений системы газообмена двигателя легкового автомобиля: дис. … канд. техн. наук/ *И.В. Малкин*. – М.: ГНЦ РФ «НАМИ», 2014. – 245 с.
11. *Мошков П.А.* Некоторые результаты экспериментального исследования акустических характеристик силовой установки сверхлегкого самолета в статических условиях// Научно-технический вестник Поволжья, 2014, №6, С. 265-270.
12. *Самохин В.Ф., Остроухов С.П., Мошков П.А.* Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым движителем в толкающей компоновке// Электронный журнал «Труды МАИ», 2013, выпуск № 70: http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=44459 (дата публикации 25.11.2013).
13. *Мошков П.А., Яковлев А.А.* Экспериментальное исследование влияния капотирования двигателя на акустические характеристики авиационной поршневой силовой установки// Научно-технический вестник Поволжья, 2014, №6, С. 271-274.

05.23.17

Н.И. Никора, А.С. Чепурненко, А.Е. Дудник

Ростовский государственный строительный университет, кафедра сопротивления материалов, Ростов–на–Дону, anton_chepurnenk@mail.ru

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО СТЕРЖНЯ В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТИ

В статье приводится методика расчета на устойчивость при ползучести полимерного стержня с учетом косвенной неоднородности, вызванной изменением температуры. Задача решается методом конечных разностей. Получено выражение для определения длительной критической силы. Показано, что при нагрузке, превышающей длительную критическую, на критическое время существенное влияние оказывает температура. Так, при повышении температуры стержня с 20 до 40 °С критическое время уменьшилось в 24 раза.

Ключевые слова: *метод конечных разностей, ползучесть, вязкоупругость, физическая нелинейность, уравнение Максвелла–Гуревича.*

Для полимерных материалов характерен ряд положительных качеств: кислото- и щелочестойкость, высокая прочность на растяжение и т.д. Однако полимеры характеризуются и реологическими свойствами. Все их упругие и реологические параметры очень сильно зависят от температуры. Так, при нагреве образцов из ПММА или ЭДТ от 20 до 40 0С значение релаксационной вязкости уменьшается почти в два раза [1]. В настоящей статье рассматривается методика расчета на устойчивость при ползучести полимерных стержней с учетом неоднородности, вызванной температурными воздействиями.

Рассмотрим шарнирно опертый стержень, имеющий начальное искривление в плоскости наименьшей жесткости $v_0 = f(x)$, сжимаемый силой F (рис. 1.). Температура стержня, а также упругие и релаксационные константы материала являются функциями от координаты x и времени t. Для любого сечения стержня справедливы следующие интегральные зависимости:

$$M = F(v + v_0) = \int_A \sigma y dA; \quad (1)$$

$$F = -\int_A \sigma dA. \quad (2)$$

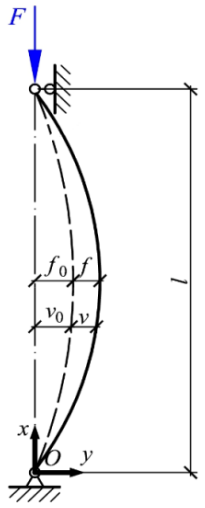


Рис.1 — Расчетная схема стержня

Полная деформация для вязкоупругого материала – это сумма упругой деформации ε^{el}, деформации ползучести ε^* и температурной деформации $\varepsilon_T = \alpha \cdot \Delta T$:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon^* + \varepsilon_T. \quad (3)$$

А с геометрической стороны, полная деформация сжато-изогнутого стержня представляет собой сумму осевой деформации ε_0 и изгибной деформации:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - y\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Подставим (4) в (3) и выразим напряжение через деформации:

$$\sigma = E\left(\varepsilon_0 - y\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \varepsilon^* - \varepsilon_T\right). \quad (5)$$

Подставив (4) в (1), получим:

$$EI\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + Fv = -Fv_0 - E\int_A \varepsilon^* y dA. \quad (6)$$

Модуль упругости в уравнении (6) является функцией времени t и координаты x. Сечение стержня может быть и переменным, т. е. $I = f(x)$. Осевая деформация определяется путем подстановки (5) в (2):

$$\varepsilon_0 = -\frac{F}{EA} + \frac{1}{A}\int_A \varepsilon^* dA + \varepsilon_T. \quad (7)$$

Подставим (7) в (5):

$$\sigma = -\frac{F}{A} + E\left(\frac{1}{A}\int_A \varepsilon^* dA - y\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \varepsilon^*\right). \quad (8)$$

В уравнения (6) и (8) не входят температурные деформации, следовательно, температура выступает только в роли фактора, оказывающего влияние на физико-механические характеристики материала.

Уравнение (6) будем решать численно методом конечных разностей. Для этого длина стержня l разбивается на n_x интервалов Δx. Вторая производная прогиба с использованием аппроксимации второго порядка точности в –м узле запишется в виде:

$$\left.\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}\right|_i = \frac{v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}}{\Delta x^2} + O(h^2). \quad (9)$$

В итоге уравнение (6) сводится к системе линейных алгебраических уравнений, которая имеет вид:

$$([A] + F[E])\{X\} = \{B\}, \quad (10)$$

где $[E]$ — единичная матрица; $\{X\} = \{v_1 \quad v_2 \quad \dots \quad v_{n_x+1}\}$ — вектор прогибов в узлах сетки. Матрица [A] имеет вид:

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & b_3 & c_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n_x} & b_{n_x} & c_{n_x} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где $a_i = c_i = E_i I_i/\Delta x^2$; $b_i = -2E_i I_i/\Delta x^2$.

Мгновенную критическую силу для стержня с переменными по длине модулем упругости и размерами поперечного сечения можно найти из условия равенства нулю определителя системы (10):

$$|[A] + F[E]| = 0, \quad (12)$$

откуда $F = -eig(A)$, где $eig(A)$ — собственные числа матрицы А, из которых необходимо выбрать наименьшее.

В качестве уравнения связи между напряжениями и деформациями ползучести будем использовать уравнение Максвелла–Гуревича, которое имеет вид:

$$\frac{\partial \varepsilon^*}{\partial t} = \frac{f^*}{\eta^*}, \quad (13)$$

где $f^* = \sigma - E_\infty \varepsilon^*$ — функция напряжений; η^* — релаксационная вязкость; E_∞ — модуль высокоэластичности.

При таком законе деформацию ползучести в каждый момент времени можно определять при помощи линейной аппроксимации по времени [2].

Релаксационная вязкость в уравнении (13) является нелинейной функцией напряжений:

$$\frac{1}{\eta^*} = \frac{1}{\eta_0^*} e^{\left|\frac{f^*}{m^*}\right|}, \quad (14)$$

где η_0^* — начальная релаксационная вязкость, m^* — модуль скорости.

Таким образом, деформация ползучести нелинейно зависит от напряжения, что обуславливает сильную физическую нелинейность задачи.

В случае затухающей ползучести предельную величину деформации ε^* при $t \to \infty$ можно найти из условия $\frac{\partial \varepsilon^*}{\partial t} = 0$:

$$f^* = \sigma - E_\infty \varepsilon^* = 0 \Rightarrow \varepsilon^*_{\text{пред}} = \frac{\sigma}{E_\infty}. \quad (15)$$

Подставив (15) в (3), получим:

$$\varepsilon = \sigma\left(\frac{1}{E} + \frac{1}{E_\infty}\right) + \varepsilon_T = \frac{\sigma}{H} + \varepsilon_T, \quad (16)$$

где величину $H = \frac{E_\infty E}{E + E_\infty}$ назовем длительным модулем.

Уравнение (6) с учетом (16) переписывается в виде:

$$H(x)I(x)\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + Fv = -Fv_0 \quad (17)$$

Уравнение (17) отличается от уравнения для упругой задачи только величиной H, следовательно, чтобы определить длительную критическую нагрузку, достаточно в выражениях для коэффициентов матрицы [A] заменить мгновенный модуль упругости E_i на длительный H_i. Отметим, что длительная критическая сила не зависит от релаксационной вязкости, которая наиболее существенно меняется при изменении температуры

Были решены модельные задачи для стержня из ЭДТ–10 при следующих исходных данных: $l = 157$ мм, $v_0 = f_0 \sin(\pi x/l)$, $f_0 = 0.16$ мм, сечение круглое, постоянное по длине, диаметром $d = 10$ мм.

Эмпирические зависимости упругих и релаксационных констант от температуры для ЭДТ–10 имеют вид [1]:

$$E = -17.5T + 3525 \text{ [МПа]}; \quad E_\infty = -30T + 3150 \text{ [МПа]};$$
$$m^* = -0.011T + 4.75 \text{ [МПа]}; \quad \eta_0^* = 36000e^{\left(\frac{9500}{T+273.15} - 20\right)} \text{ [МПа]}, \quad (18)$$

где T — температура в градусах Цельсия.

Рассматривались следующие варианты изменения по длине стержня температуры:

а) Температура постоянна по длине и равна 20 °*C*. Мгновенная критическая сила для такого варианта составила 624 Н, а длительная — 278 Н. Отношение $\frac{F_{\text{мгн}}}{F_{\text{дл}}} = \frac{E}{H} = 2.25$.

б) Температура меняется по линейному закону от 20 °*C* при $x = 0$ до 40 °*C* при $x = l$. $F_{\text{мгн}} = 589$ Н, $F_{\text{дл}} = 252$ Н, $\frac{F_{\text{дл}}}{F_{\text{мгн}}} = 2.34$.

в) Температура стержня по длине постоянная, $T = 40$ °*C*. $F_{\text{мгн}} = 555$ Н, $F_{\text{дл}} = 226$ Н, $\frac{F_{\text{дл}}}{F_{\text{мгн}}} = 2.46$.

На рис. 2 показаны графики роста стрелы прогиба для варианта б) при следующих значениях сжимающей силы F: кривая 1 — $F = 240$ Н, кривая 2 — $F = F_{\text{дл}} = 252$ Н, кривая 3 — $F = 264$ Н. Из представленных графиков видно, что при $F < F_{\text{дл}}$ рост прогиба затухает, а при $F > F_{\text{дл}}$ на графике $f(t)$ имеется точка перегиба, после которой скорость роста стрелы прогиба возрастает. При $F = F_{\text{дл}}$, начиная с $t = 1000$ ч, прогиб растет с постоянной скоростью.

При увеличении температуры от 20 до 40 °*C* длительная критическая сила снизилась всего на 23%. Однако в работах [3–4] имеются данные, что при таком изменении температуры критическое время может уменьшиться в десятки раз. Это объясняется тем, что рассматриваются величины сжимающей силы в интервале $F_{\text{дл}} < F < F_{\text{мгн}}$, и на процесс потери устойчивости оказывает сильное влияние релаксационная вязкость, которая от температуры зависит экспоненциально.

На рис. 3 приведены графики роста стрелы прогиба для вариантов изменения температуры а, б, в при $F = 400$ Н $> F_{дл}$. За критерий потери устойчивости принимали величину стрелы прогиба $f_{пред} = \frac{l}{10}$. Критическое время для вариантов а, б, в составило соответственно 475 ч, 91 ч и 20 ч, т.е. при повышении температуры стержня на 20 °C уменьшилось в 24 раза.

Таким образом, нагрузка действующая на стержень, не должна превышать длительную критическую.

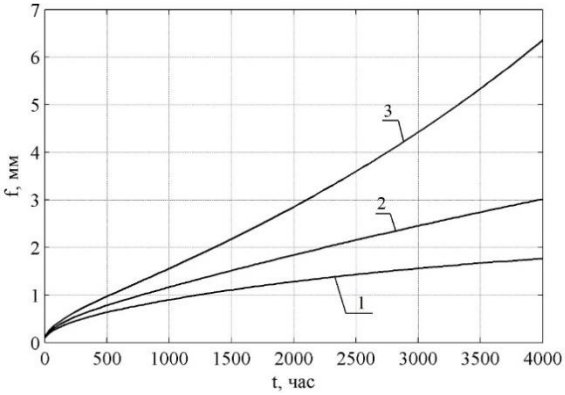


Рис. 2 — Графики роста стрелы прогиба

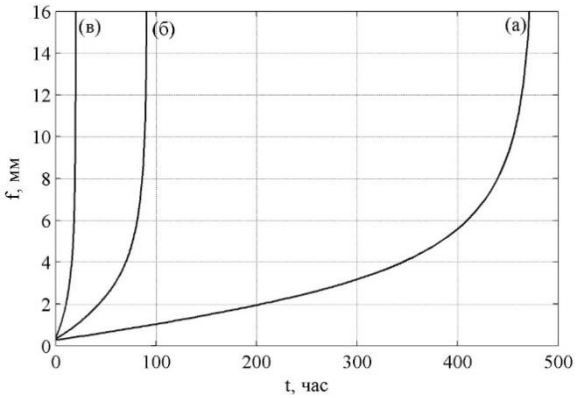


Рис.3 — Рост стрелы прогиба для вариантов изменения температуры а, б, в

Список литературы

1. *Бабич В.Ф., Рабинович А.Л.* Влияние температуры на механические характеристики некоторых эпоксидных связующих // Физико–химия и механика ориентированных стеклопластиков. 1967. С. 150–153.

2. *Vladimir I. Andreev, Anton S. Chepurnenko, Batyr M. Yazyev.* Energy Method in the Calculation Stability of Compressed Polymer Rods Considering Creep // Advanced Materials Research Vols. 1004–1005 (2014) pp 257–260. Trans Tech Publications, Switzerland.

3. *Клименко Е.С., Аминева Е.Х., Литвинов С.В., Языев С.Б., Кулинич И.И.* Устойчивость сжатых неоднородных стержней с учетом физической нелинейности материала: монография. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2012. 77 с.

4. *Литвинов С.В., Клименко Е.С., Кулинич И.И. и др.* Расчет на устойчивость стержней из ЭДТ–10 при различных вариантах закрепления // Инженерный Вестник Дона: электронный журнал. №2. 2011. URL: http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n2y2011/415.

05.13.17

А.И. Симонов

ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», факультет автоматики и вычислительной техники, кафедра электронных вычислительных машин, Киров, asimonov215@gmail.com

МЕТОД АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА СЛЕДСТВИЙ С ПОСТРОЕНИЕМ СХЕМЫ ВЫВОДА[1]

В работе даётся содержательная и формальная постановка задачи. Приводится описание схемы вывода, предусматривающее задание литералам параметров и определение способа их отображения на схеме вывода. Предлагается метод абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода, применение которого иллюстрируется на примере.

Ключевые слова: *абдуктивный логический вывод, множество следствий, схема вывода, дополнительный факт, исчисление высказываний.*

В настоящее время дедуктивные выводы хорошо изучены, но в силу того, что они, как правило, не применимы при решении задач в сложных прикладных областях, возникает необходимость разработки таких стратегий вывода, которые использует человек в своей повседневной деятельности [1,2]. Поскольку человек взаимодействует с неполной, противоречивой, неточной, неопределённой информацией, то здесь главную роль играет правдоподобный вывод. По этой причине большинство современных исследований сконцентрировано на подобных видах логического вывода – индукции и абдукции.

Известна задача абдуктивного вывода следствий [3], при решении которой, желателен результат в виде схемы логического вывода, наглядно объясняющей пользователю, какие следствия могут быть получены из исходной базы знаний с помощью новых поступивших фактов, и какие дополнительные факты требуются для достижения этих следствий. Поэтому возникает необходимость в разработке такого метода, который бы решал данную задачу. В работе предлагается решение этой задачи с помощью нового метода абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода.

Постановка задачи

Для решения данной задачи необходимо представить полную содержательную и формальную постановку задачи.

Содержательная постановка задачи. Содержательная постановка задачи абдуктивного вывода следствий данная в работе [3] должна быть изменена, чтобы удовлетворять необходимости построения схемы вывода, следующим образом: при заданной базе исходных посылок для некоторого (нового) набора фактов определить множество следствий (утверждений, которые будут следовать из этого набора), множество дополнительных фактов (необходимых для успешного вывода следствий и не противоречащих исходным посылкам) и описание схемы логического вывода (необходимое для построения схемы вывода).

Формальная постановка задачи. Задачу абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода можно сформулировать следующим образом. Имеются исходные непротиворечивые посылки, заданные в виде множества дизъюнктов $M\wedge=\{D_1,D_2,\ldots,D_I\}$. Множество $M\wedge=M^F\cup M$ состоит из подмножества однолитеральных дизъюнктов-фактов M^F и подмножества дизъюнктов-правил M. Также имеется множество новых фактов $m^F=\{L_1,L_2,\ldots,L_P\}$.

1) Определить два семейства множеств: следствий $s^H=\{s_1,s_2,\ldots,s_h,\ldots,s_H\}$ и дополнительных фактов $f^H=\{f_1,f_2,\ldots,f_h,\ldots,f_H\}$, таких, что множество следствий s_h содержит следствия, выводимые из множества следствий s_{h-1} с помощью множества посылок M_h ($M_h\subseteq M\wedge$) и множества дополнительных фактов f_h:

$s_{h-1},(M_h\cup f_h)\Rightarrow s_h$, $h=1,\ldots,H$; $s_0=M^F\cap m^F$ и $M\wedge\cup F$ – совместно ($F=f_1\cup\ldots\cup f_H$). Причём, если $s_{h-1},M_h\Rightarrow s_h$, то $f_h=\varnothing$.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-02818 а)

2) Определить подмножество конечных следствий $s^+ \subseteq S$, из которых не могут быть выведены новые следствия ($S=s_1 \cup \ldots \cup s_H$).

3) Сформировать описание схемы логического вывода, по которому может быть построена схема вывода следствий, в виде семейства множеств $G^+=g^H \cup \{s^+\} \cup \{F\}$, где $g^H=\{g_1,g_2,\ldots,g_h,\ldots,g_H\}$ – семейство множеств частных; g_h – множество литералов, полученных при формировании описания схемы на шаге вывода h.

Описание схемы логического вывода

Все исходные секвенции-дизъюнкты предварительно нумеруются, образуя множество номеров секвенций N. Обозначим через A множество различных переменных, используемых в секвенциях. Тогда описание схемы можно представить в виде множества литералов: $g=\{L(j,k);\ L \in A,\ j,k \in N\}$, где j – номер секвенции, из вершины которой на схеме выходит дуга, помеченная литералом L, а k – номер секвенции, в вершину которой она входит [4]. По номеру исходной секвенции однозначно определяются литералы, помечающие входящие и выходящие дуги вершины этой секвенции на схеме. Схема вывода представляет собой ориентированный граф. В описании схемы используются только положительные (без инверсии) литералы.

Исходные секвенции вида $A \cdot B \rightarrow C$, преобразуются в дизъюнкты вида $D_i = \neg A \vee \neg B \vee C$ с помощью следующих операций.

Осуществляется перенос левой части секвенции (антецедент) в правую часть (консеквент) по правилу переноса, т.е. с инверсией литералов и заменой знака операции конъюнкции на дизъюнкцию.

Правой части секвенции назначается имя дизъюнкта D_i, где i – номер данной секвенции из множества N.

Литералам, входящим в дизъюнкты назначаются параметры в соответствии со следующими формулами $\neg L=L(+,k)$, $L=L(k,+)$, где + – символ вспомогательной переменной; k – номер секвенции (дизъюнкта).

Вершина на схеме вывода обозначается номером секвенции k. Дуги на схеме вывода обозначаются литералом без параметров. На рисунке 1 приведен подробный способ (даны литералы с параметрами) отображения вершин на схеме вывода (в вершину входят посылки, а выходят следствия).

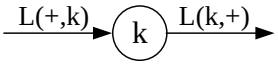


Рис. 1 – Способ отображения секвенции на схеме вывода

Факты это секвенции, левая часть которых имеет значение единицы, поэтому в вершину должна входить дуга помеченная единицей. Но для того чтобы упростить формируемую схему вывода данная дуга не будет отображаться, а будет подразумеваться (рисунок 2).

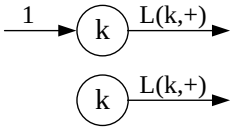


Рис. 2 – Способ отображения фактов на схеме вывода

Метод абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода

Изначально имеются исходные секвенции, которые будут составлять базу знаний. Над ними производятся необходимые преобразования, данные в описании схемы вывода. В методе используются уже преобразованные секвенции в виде дизъюнктов содержащих литералы с параметрами.

Шаг А Выполняется предварительный шаг.

Поступившее преобразованное множество исходных дизъюнктов записывается в базу знаний. Поступают новые факты, из которых требуется вывести всевозможные следствия из базы знаний. В базе знаний хранятся дизъюнкты-правила и дизъюнкты-факты. Поступившие новые факты описываются множеством m^F. Факты базы знаний выделяются в отдельное множество M^F.

Так как среди поступивших фактов могут находиться факты уже присутствующие в базе знаний, то они представляют собой следствия нулевого шага вывода. Определить такие следствия можно с помощью пересечения множеств m^F и M^F.

С этой целью вводятся дополнительные операции *левоориентированного пересечения* $\overleftarrow{\cap}$ и *объединения* $\overleftarrow{\cup}$. Специфика данных операций заключается в том, что расположение множеств относительно знака операции определяет параметры получившихся литералов. Если пересекаются (объединяются) множества, содержащие одинаковые литералы, то результирующие литералы будет иметь параметры литералов, находящихся в множестве расположенном слева от операции. Таким образом, данные операции можно назвать ориентированными на левый операнд (левоориентированными). Полученное множество следствий s_0 включается в семейство множеств следствий нулевого шага s^0: $s_0=M^F \overleftarrow{\cap} m^F$, $s^0=\{s_0\}$.

Определяется множество выводимых литералов $\tilde{R}$ с помощью левоориентированного объединения множества следствий и множества новых фактов: $\tilde{R}=s_0 \overleftarrow{\cup} m^F$.

Определяется множество упрощающих фактов $\tilde{r}$ с помощью разности множеств фактов базы знаний и полученных следствий: $\tilde{r}=M^F-s_0$.

Формируются выводимый R_1 и упрощающий r дизъюнкты с помощью дизъюнкции литералов входящих в множества $\tilde{R}$ и $\tilde{r}$ соответственно: $R_1=\bigvee_{j=1}^{J} L_j$, $r=\bigvee_{j=1}^{J} L_j$, где L_j – литерал, входящий в соответствующие множества $\tilde{R}$ (для R_1) и $\tilde{r}$ (для r), $j=1,\ldots,J$.

Формируется исходное выводимое множество дизъюнктов M_1 путём вычитания из множества дизъюнктов базы знаний $M^{\wedge}$ множества фактов базы знаний M^F: $M_1=M^{\wedge}-M^F$.

Формируется семейство множеств частных: $g^0=\varnothing$.

Формируется семейство множеств дополнительных фактов: $f^0=\varnothing$.

Выполняется проверка признака окончания вывода. Вывод завершается ($P^0=1$), если выводимое множество дизъюнктов является пустым множеством ($M_1=\varnothing$). Устанавливается шаг вывода $h=1$.

Шаг В Выполняется процедура вывода на h-м шаге

$V_h=\langle M_h,R_h,M_{h+1},R_{h+1},g_h,s_h,f_h\rangle$.

Шаг В.1 Выполняется операция обобщенного деления множества дизъюнктов M_h на выводимый дизъюнкт R_h со склеиванием параметров литералов [4,5]: $D_i \div R_h=\langle a_i,b_i\rangle$, где D_i – дизъюнкт из множества M_h ($i=1,\ldots,I$); a_i – частное от деления; b_i – остаток от деления.

В случае если у дизъюнктов (делимого и делителя) нет общих литералов, то частное $a=\varnothing$, а остаток $b=1$.

Во множество частных g'_h включаются *не пустые* множества частных от деления: $g'_h=\{L(j,k)\}$.

Шаг В.2 Выполняется операция упрощения остатков путём деления получившихся остатков на дизъюнкт r. В случае если упрощение остатка произведено успешно (имеется новый упрощённый остаток $b'_i\neq 1$), то его значение присваивается результирующему остатку B_i, иначе ему присваивается значение ранее полученного остатка b_i.

Формируется новое множество частных, в которое включаются множество частных g'_h и полученные новые частные a'_i: $g^*_h=g'_h\cup\bigcup_{i=1}^{I} a'_i$, где a'_i – новое *не пустое* частное от деления дизъюнкта r на полученные ранее остатки b_i.

Шаг В.3 Формируется множество следствий.

В предварительное множество следствий s^*_h включаются литералы остатков, имеющие форму $L(k,+)$: $s^*_h=\{L(k,+)\}$.

Производится операция *унификации к наименьшему* $\hat{\cup}$ над элементами множества s^*_h. Если в множестве имеются одинаковые литералы L с разными значениями параметров, то

после выполнения данной операции результирующий литерал L будет иметь параметр с *наименьшим номером:* $s_h=\hat{\cup} s^*_h$.

Шаг B.4 Формируется предварительное множество дополнительных фактов и объединённое множество частных.

Формируется предварительное множество дополнительных фактов, в которое включаются литералы полученных остатков, имеющие форму $L(+,k)$: $f^*_h=\{L(+,k)\}$.

Формируется склеенное множество g^S_h с помощью операции пересечения со склеиванием литералов [4,5]. Склеиваются литералы вида $L(+,k)$ и $L(j,+)$ в литерал вида $L(j,k)$. Множество g_h формируется из множества следствий s_h и предварительного множества дополнительных фактов f^*_h: $g^S_h=s_h\breve{\cap} f^*_h$.

Формируется объединённое множество частных g_h с помощью объединения множества частных g^*_h и склеенного множества g^S_h: $g_h=g^*_h\cup g^S_h$.

Шаг B.5 Формируется множество дополнительных фактов f_h с помощью операций объединения со склеиванием литералов и вычитания множеств: $f_h=(f^*_h\breve{\cup} g^S_h)-g^S_h$.

Шаг B.6 Формируется новый выводимый дизъюнкт.

Выводимый дизъюнкт R_{h+1} представляет собой дизъюнкцию литералов множества следствий s_h: $R_{h+1}=\bigvee_{j=1}^{J} L_j$, где L_j – литералы множества следствий s_h, $j=1,\ldots,J$.

Шаг B.7 Корректируется множество выводимых дизъюнктов.

Из множества выводимых дизъюнктов M_h исключаются те дизъюнкты, остатки которых не равны единице ($B\neq1$), а содержат дизъюнкцию литералов или равны нулю ($B=0$): $M_{h+1}=M_h-\bigcup_{i=1}^{I} D_i$, где D_i – дизъюнкты, остатки которых не равны единице ($B_i\neq1$), $i=1,\ldots,I$.

Шаг B.8 Фиксируются результаты выполнения процедуры V_h: $R_{h+1},M_{h+1},g_h,s_h,f_h$.

Шаг C Формируются семейства множеств и выполняется проверка признака окончания вывода.

Формируется семейство множеств следствий: $s^h=s^{h-1}\cup\{s_h\}$.

Формируется семейство множеств дополнительных фактов: $f^h=f^{h-1}\cup\{f_h\}$.

Формируется семейство множеств частных: $g^h=g^{h-1}\cup\{g_h\}$.

Выполняется проверка признака окончания вывода. Вывод завершается ($P^h=1$, где $h>0$), если новое выводимое множество дизъюнктов является пустым множеством ($M_{h+1}=\varnothing$), или если множество следствий является пустым множеством ($s_h=\varnothing$).

Если $P^h=0$, то вывод продолжается, значение шага h увеличивается на единицу, осуществляется переход к шагу B и выполняется процедура V_h. Иначе, если $P^h=1$, то осуществляется переход к шагу D.

Шаг D Формируются общие множества, осуществляется проверка отсутствия противоречивости.

Формируется общее множество следствий S, получаемое путём объединения множеств семейства s^H: $S=s_0\cup s_1\cup s_2\cup\ldots\cup s_H$.

Формируется общее множество дополнительных фактов F, получаемое путём объединения множеств семейства f^H: $F=f_1\cup f_2\cup\ldots\cup f_H$.

Формируется общее множество частных G, получаемое путём объединения множеств семейства g^H: $G=g_1\cup g_2\cup\ldots\cup g_H$

Формируется множество конечных следствий s^+ с помощью операции объединения со склеиванием параметров $\breve{\cup}$ [4,5]: $s^+=(G\breve{\cup} S)-G$.

Формируется описание схемы вывода следствий G^+, получаемое путём объединения семейства множеств частных g^H, множества конечных следствий s^+ и общего множества дополнительных фактов F: $G^+=g^H\cup\{s^+\}\cup\{F\}$.

Для определения непротиворечивости полученных дополнительных фактов с исходным множеством дизъюнктов выполняется проверочный дедуктивный вывод [5]. В нём осуществляется попытка вывести инверсии литералов дополнительных фактов $\rceil F$ из исходного множества дизъюнктов M^: M^$\Rightarrow \rceil F$.

В случае если *дедуктивный вывод* завершается *неудачно* (Q_h=1), инверсии дополнительных фактов *не выводятся* из исходных дизъюнктов и поэтому *дополнительные факты*, полученные в ходе абдуктивного вывода, *не противоречат* исходным дизъюнктам, следовательно, *абдуктивный вывод успешно завершается*. Иначе, если *дедуктивный вывод* завершается *удачно* (Q_h=0), инверсии дополнительных фактов *выводятся* из исходных дизъюнктов и поэтому *дополнительные факты*, полученные в ходе абдуктивного вывода, *противоречат* исходным дизъюнктам, следовательно, *абдуктивный вывод завершается неудачно*.

Строится схема вывода по описанию семейства множеств G^+. Для упрощения схемы вывода вершины с символом «+» не указываются, а дополнительные факты, полученные с помощью абдукции, отображаются в виде именованных (литералом) направленных стрелок, не имеющих исходящей вершины. Для большей наглядности схемы вывода литералы из множества новых фактов m^F выделяются жирным шрифтом.

Пример абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода

Применение метода рассмотрим на следующем примере. Необходимо вывести все следствия, из поступивших новых фактов используя факты и правила, составляющие исходную базу знаний.

Исходные секвенции:

1) $1\to A$; 2) $BC\to D$; 3) $ADX\to E$; 4) $DEP\to F$; 5) $1\to L$; 6) $KLF\to M$; 7) $MP\to R$; 8) $1\to P$; 9) $SR\to T$; 10) $PF\to U$; 11) $ZP\to F$; 12) $M\to R$; 13) $MU\to X$.

Осуществляется преобразование исходных секвенций в дизъюнктивную форму. Для этого выполняется перенос литералов из левой части в правую часть секвенции.

1) $1\to A$; 2) $1\to \rceil B\vee \rceil C\vee D$; 3) $1\to \rceil A\vee \rceil D\vee \rceil X\vee E$; 4) $1\to \rceil D\vee \rceil E\vee \rceil P\vee F$; 5) $1\to L$; 6) $1\to \rceil K\vee \rceil L\vee \rceil F\vee M$; 7) $1\to \rceil M\vee \rceil P\vee R$; 8) $1\to P$; 9) $1\to \rceil S\vee \rceil R\vee T$; 10) $1\to \rceil P\vee \rceil F\vee U$; 11) $1\to \rceil Z\vee \rceil P\vee F$; 12) $1\to \rceil M\vee R$; 13) $1\to \rceil M\vee \rceil U\vee X$.

Секвенции преобразуются в дизъюнкты, при этом правая часть секвенции считается дизъюнктом.

$D_1=A$; $D_2=\rceil B\vee \rceil C\vee D$; $D_3=\rceil A\vee \rceil D\vee \rceil X\vee E$; $D_4=\rceil D\vee \rceil E\vee \rceil P\vee F$; $D_5=L$; $D_6=\rceil K\vee \rceil L\vee \rceil F\vee M$; $D_7=\rceil M\vee \rceil P\vee R$; $D_8=P$; $D_9=\rceil S\vee \rceil R\vee T$; $D_{10}=\rceil P\vee \rceil F\vee U$; $D_{11}=\rceil Z\vee \rceil P\vee F$; $D_{12}=\rceil M\vee R$; $D_{13}=\rceil M\vee \rceil U\vee X$.

Задаются параметры для каждого литерала в дизъюнктах.

$$D_1=A(1,+);\ D_2=B(+,2)\vee C(+,2)\vee D(2,+);\ D_3=A(+,3)\vee D(+,3)\vee X(+,3)\vee E(3,+);$$
$$D_4=D(+,4)\vee E(+,4)\vee P(+,4)\vee F(4,+);\ D_5=L(5,+);\ D_6=K(+,6)\vee L(+,6)\vee F(+,6)\vee M(6,+);$$
$$D_7=M(+,7)\vee P(+,7)\vee R(7,+);\ D_8=P(8,+);\ D_9=S(+,9)\vee R(+,9)\vee T(9,+);\ D_{10}=P(+,10)\vee F(+,10)\vee U(10,+);$$
$$D_{11}=Z(+,11)\vee P(+,11)\vee F(11,+);\ D_{12}=M(+,12)\vee R(12,+);\ D_{13}=M(+,13)\vee U(+,13)\vee X(13,+).$$

Шаг А Выполняется предварительный шаг.

Поступают новые факты: $m^F=\{A(14,+),B(15,+),C(16,+)\}$.

Выделяются факты, находящиеся в базе знаний:

$M^F=\{A(1,+),L(5,+),P(8,+)\}$.

Определяются следствия, выводимые из базы знаний в связи с поступившими фактами:

$s_0=M^F \overset{\leftarrow}{\cap} m^F=\{A(1,+),L(5,+),P(8,+)\} \overset{\leftarrow}{\cap} \{A(14,+),B(15,+),C(16,+)\}=\{A(1,+)\}$;

$s^0=\{s_0\}$.

Составляется множество выводимых литералов $\tilde{R}$:

$\tilde{R}=s_0 \overset{\leftarrow}{\cup} m^F=\{A(1,+),B(15,+),C(16,+)\}$.

Составляется множество упрощающих фактов $\tilde{r}$:

$\tilde{r}=M^F-s_0=\{L(5,+),P(8,+)\}$.

Формируется выводимый дизъюнкт: $R_1=A(1,+)\vee B(15,+)\vee C(16,+)$.

Формируется упрощающий дизъюнкт: $r=L(5,+)\vee P(8,+)$.

Выделяется выводимое множество дизъюнктов:

$M_1=M\wedge\text{-}M^F=\{D_2,D_3,D_4,D_6,D_7,D_9,D_{10},D_{11},D_{12},D_{13}\}$.

Формируется семейство множеств частных: $g^0=\varnothing$.

Формируется семейство множеств дополнительных фактов: $f^0=\varnothing$.

Выполняется проверка признака окончания вывода: $M_1\neq\varnothing\Rightarrow P^0=0$.

Следовательно, вывод продолжается и устанавливается шаг вывода $h=1$.

Шаг B.1 Выполняется процедура вывода первого шага

$V_1=\langle M_1,R_1,M_2,R_2,g_1,s_1,f_1\rangle$.

Шаг B.1.1 Выполняется операция обобщенного деления множества дизъюнктов M_1 на выводимый дизъюнкт R_1 со склеиванием параметров литералов:

$a_2=\{B(15,2),C(16,2)\}$; $b_2=D(2,+)$; $a_3=\{A(1,3)\}$; $b_3=D(+,3)X(+,3)E(3,+)$; $g'_1=a_2\cup a_3$.

Частные и остатки остальных дизъюнктов имеют значения $a=\varnothing$, $b=1$.

Шаг B.1.2 Выполняется упрощение остатков.

$a'_1=\varnothing$; $b'_1=1$; $B_2=b_2$; $a'_3=\varnothing$; $b'_3=1$; $B_3=b_3$; $g^*_1=g'_1$.

Шаг B.1.3 Формируется множество следствий.

$s^*_1=\{D(2,+),E(3,+)\}$; $s_1=\hat{\cup}\, s^*_1=\{D(2,+),E(3,+)\}$.

Шаг B.1.4 Формируется предварительное множество дополнительных фактов и объединённое множество частных.

$f^*_1=\{D(+,3),X(+,3)\}$

$g^S_1=s_1\,\breve{\cap}\, f^*_1=\{D(2,+),E(3,+)\}\,\breve{\cap}\,\{D(+,3),X(+,3)\}=\{D(2,3)\}$

$g_1=g^*_1\cup g^S_1=\{B(15,2),C(16,2),A(1,3)\}\cup\{D(2,3)\}=\{B(15,2),C(16,2),A(1,3),D(2,3)\}$.

Шаг B.1.5 Формируется множество дополнительных фактов.

$f_1=(f^*_1\,\breve{\cup}\, g^S_1)-g^S_1=(\{D(+,3),X(+,3)\}\,\breve{\cup}\,\{D(2,3)\})-\{D(2,3)\}=\{X(+,3)\}$.

Шаг B.1.6 Формируется новый выводимый дизъюнкт.

$R_2=D(2,+)\vee E(3,+)$.

Шаг B.1.7 Корректируется множество выводимых дизъюнктов.

$M_2=M_1-\{D_2,D_3\}=\{D_4,D_6,D_7,D_9,D_{10},D_{11},D_{12},D_{13}\}$.

Шаг B.1.8 Фиксируются результаты выполнения процедуры.

$g_1=\{B(15,2),C(16,2),A(1,3),D(2,3)\}$; $s_1=\{D(2,+),E(3,+)\}$; $f_1=\{X(+,3)\}$; $R_2=D(2,+)\vee E(3,+)$; $M_2=\{D_4,D_6,D_7,D_9,D_{10},D_{11},D_{12},D_{13}\}$.

Шаг C.1 Формируются семейства множеств и выполняется проверка признака окончания вывода.

Формируется семейство множеств следствий.

$s^1=s^0\cup\{s_1\}=\{\{A(1,+)\},\{D(2,+),E(3,+)\}\}$.

Формируется семейство множеств дополнительных фактов.

$f^1=f^0\cup\{f_1\}=\{\{X(+,3)\}\}$

Формируется семейство множеств частных.

$g^1=g^0\cup\{g_1\}=\{\{B(15,2),C(16,2),A(1,3),D(2,3)\}\}$.

Выполняется проверка признака окончания вывода $M_2\neq\varnothing$, $s_1\neq\varnothing\Rightarrow P^1=0$. Следовательно, вывод продолжается. Шаг вывода увеличивается на единицу $h=2$. Осуществляется переход к шагу *B.2* и выполняется процедура V_2.

Цикл вывода завершается на шестом шаге $P^6=1$. Семейства множеств полученные на шестом шаге:

$s_6=\{\{A(1,+)\},\{D(2,+),E(3,+)\},\{F(4,+)\},\{M(6,+),U(10,+)\},\{R(7,+),X(13,+)\},\{T(9,+)\}\}$;

$f_6=\{\{X(+,3)\},\{K(+,6)\},\{S(+,9)\}\}$;

$g_6=\{\{B(15,2),C(16,2),A(1,3),D(2,3)\},\{D(2,4),E(3,4),P(8,4)\},\{F(4,6),F(4,10),L(5,6),P(8,10)\},\{M(6,7),M(6,12),M(6,13),U(10,13),P(8,7)\},\{R(7,9\}\}$.

Шаг D Формируются общие множества, осуществляется проверка отсутствия противоречивости.

Формируется общее множество следствий S:

$S=\{A(1,+),D(2,+),E(3,+),F(4,+),M(6,+),U(10,+),R(7,+),X(13,+),T(9,+)\}$.

Формируется общее множество дополнительных фактов F:

$F=\{X(+,3),K(+,6),S(+,9)\}$.

Формируется общее множество частных G:

$G=\{B(15,2),C(16,2),A(1,3),D(2,3),D(2,4),E(3,4),P(8,4),F(4,6),F(4,10),L(5,6),$
$P(8,10),M(6,7),M(6,12),M(6,13),U(10,13),P(8,7),R(7,9)\}$.

Формируется множество конечных следствий s^+: $s^+=\{X(13,+),T(9,+)\}$.

Формируется описание схемы вывода следствий G^+:

$G^+=g^6\cup\{s^+\}\cup\{F\}=\{\{B(15,2),C(16,2),A(1,3),D(2,3)\},\{D(2,4),E(3,4),P(8,4)\},\{F(4,6),F(4,10),L(5,6),$
$P(8,10)\},\{M(6,7),M(6,12),M(6,13),U(10,13),P(8,7)\},$
$\{R(7,9)\},\{X(13,+),T(9,+)\},\{X(+,3),K(+,6),S(+,9)\}\}$.

Выполняется проверочный дедуктивный вывод $M\wedge\Rightarrow\rceil F$. *Проверочный дедуктивный вывод* завершается *неудачно* на третьем шаге вывода. Следовательно, *абдуктивный вывод* завершается *успешно*, так как полученные *дополнительные факты не противоречат* исходным дизъюнктам.

Строится схема вывода (рисунок 3) с помощью сформированного описания G^+, на ней выделяются литералы множества m^F.

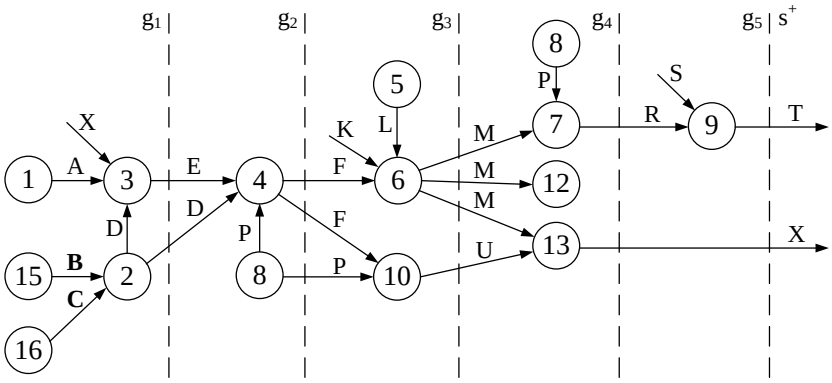


Рис. 3 – Сформированная схема вывода

Заключение

Предложенный метод абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода, позволяет не только получить все следствия, выводимые из исходной базы знаний с помощью новых поступивших фактов, но и сформировать описание схемы логического вывода, по которому она может быть построена. Данная схема вывода наглядно отображает ход логического вывода по шагам, а также содержит введённые дополнительные факты и полученные конечные следствия. Анализ схемы позволяет установить, какие дополнительные факты должны быть получены для достижения требуемых следствий. Перспективной областью применения метода абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода является логическое прогнозирование развития ситуаций в условиях неполной, неточной информации.

Список литературы

1. *Вагин В.Н.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина. – 2-е изд., испр. и доп. / под ред. В.Н. Вагина и Д.А. Поспелова. – М.: Физматлит, 2008. – 712 с.

2. *Magnani L.* Abductive Cognition: The Epistemological and Eco-Cognitive Dimensions of Hypothetical Reasoning / L. Magnani. – Berlin: Springer-Verlag, 2009. – 535 p.

3. *Страбыкин Д.А., Долженкова М.Л.* Задача абдуктивного вывода следствий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №1. – С. 74–77.

4. *Долженкова М.Л., Страбыкин Д.А.* Дедуктивный вывод заключения с построением схемы логического вывода // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №4. – С. 143–150.

5. *Страбыкин Д.А.* Логическое прогнозирование развития ситуаций в интеллектуальных системах на основе дедуктивного вывода: монография / Д.А. Страбыкин. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 182 с.

05.13.18

А.Е. Терлыч к.т.н., А.Г. Щербинин д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ НА ВЕЛИЧИНУ ДОПУСТИМОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ И ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Представлены результаты экспериментального исследования влияния различных способов прокладки на величину допустимой токовой нагрузки и процессы отвода тепла силовых кабелей. Приведены полученные зависимости температуры оболочки кабеля в пучке от величины протекающего по кабелям тока и теплового сопротивления окружающей среды от величины зазора в свету между кабелями.

Ключевые слова: *допустимая токовая нагрузка, способы прокладки, экспериментальное исследование.*

Допустимая токовая нагрузка силовых кабелей является одной из основных эксплуатационных характеристик. Она во многом зависит от способа прокладки и определяется величиной нагрева изоляции кабеля [1]. При групповой прокладке кабелей условия отвода тепла могут существенно ухудшаться, что приводит к снижению пропускной способности кабельных линий.

Целью настоящего экспериментального исследования является изучение влияния различных способов групповой прокладки кабелей в воздушной среде на величину их допустимой токовой нагрузки. Полученные в результате исследования данные могут быть также использованы для верификации математических моделей, позволяющих рассчитывать допустимые токи нагрузки для разнообразных способов прокладки [2,3].

Исследование проводилось на натурной модели имитирующей различные способы прокладки силовых кабелей. В качестве элементов модели использовались провода марки ПВС 2х1,5+1х1,5 по ГОСТ 7399-97 со скрученными жилами с поливинилхлоридной изоляцией, с поливинилхлоридной оболочкой, по своей конструкции близкие к большинству конструкций силовых кабелей с пластмассовой изоляцией, что позволяет распространить результаты исследования и на другие конструкции кабелей, однако требующие меньших токов для своего нагрева.

Схема установки, используемой в экспериментальных исследованиях, представлена на рис.1. Токопроводящие жилы исследуемого кабеля образуют короткозамкнутый виток, который является вторичной обмоткой и проходит через трансформатор (Тр) и трансформатор тока (ТТ). Регулируемое напряжение от (латра) подается на первичную обмотку трансформатора (Тр). На оболочке кабеля, расположенного в центре пучка установлена термопара *4*. Термопара подключена к измерителю температуры *3*. При этом для каждой токовой нагрузки измерялось установившееся значение температуры, после прогрева пучка. Температура фиксировалась на оболочке центрального кабеля в пучке (контактное измерение) при помощи термопары. Кроме того, проводились тепловизионные измерения (бесконтактное измерение) боковой поверхности пучка и верхней части пучка. Температура окружающей среды при измерениях равнялась 26ºС.

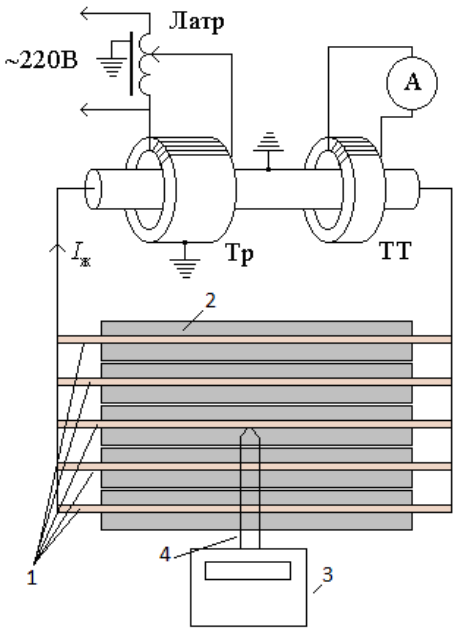


Рис. 1. Схема установки нагрева кабеля: *1* – токопроводящие жилы; *2* – изоляция и оболочка; *3* – измеритель температуры; *4* – термопара.

В таблице 1 приведены исследуемые способы прокладки кабелей.

Таблица 1. Способы прокладки кабелей

№ экспери-мента	способ прокладки	вид прокладки в поперечном сечении
1	15 кабелей в пучке	
2	10 кабелей в пучке	
3	5 кабелей в пучке в ряд	
4	5 кабелей в пучке в ряд с зазором 3мм	
5	5 кабелей в пучке в ряд с зазором 8мм	
6	5 кабелей в пучке в ряд с зазором 13мм	

Результаты измерений, полученные при помощи термопары и тепловизора для разных условий прокладки приведены в таблице 2. В таблице использованы сокращения: Тб. – максимальная температура сбоку пучка; Тп. – максимальная температура на поверхности пучка.

Таблица 2. Результаты измерений температуры оболочек кабелей

	Ток в каждом из кабелей (3 жилы включены параллельно), А									
	6,6		10		13,3		16,6		20	
№ эксперимента	Температура, определенная при помощи тепловизора, ºС									
	Тп.	Тб.	Тп.	Тб.	Тп.	Тб.	Тп.	Тб.	Тп.	Тб.
1	30,1	29,6	35,7	35,1	42,5	40,5	52,9	50,4	61,3	58,8
2	29,2	29,1	33,4	32,9	38,6	37,5	46,2	44,2	57,5	55,0
3	28,7	28,6	31,6	31,2	35,0	34,2	39,4	38,3	44,4	43,4
4	26,9	26,9	29,7	29,0	32,4	31,3	34,4	34,1	39,2	37,9
5	26,7	26,6	28,4	28,4	30,8	30,2	34,0	33,9	35,4	35,4
6	26,9	27,2	28,3	28,5	29,8	30,1	32,3	32,0	35,3	35,1
№ эксперимента	Температура термопары в центре пучка, ºС									
1	31,5		35,5		43,5		53,5		64,5	
2	29,5		33,5		38,5		46,5		56,5	
3	29,5		31,5		35,5		38,5		43,5	
4	28,5		30,5		32,5		35,5		38,5	
5	27,5		29,5		31,5		34,5		35,5	
6	27,5		28,5		30,5		32,5		34,5	

На рис. 2 приведена зависимость температуры оболочки центрального кабеля в пучке от величины протекающего по кабелю тока. Из рисунка видно, что при одной и той же максимальной температуре оболочки кабелей (35 ºС) токовые нагрузки для способов прокладки 3 и 6 будут отличаться белее, чем на 30%.

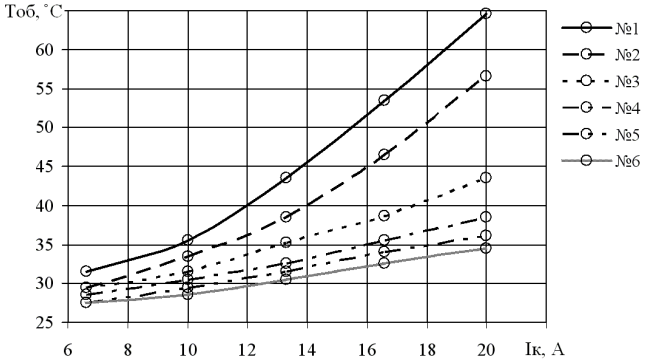


Рис. 2. Зависимость температуры оболочки кабеля ($T_{об}$) в центре пучка от величины протекающего по кабелям тока ($I_к$).

На рис. 3 приведена тепловая схема замещения трехжильного кабеля. Тепловой поток от токопроводящей жилы кабеля проходит через все элементы конструкции кабеля и переходит в окружающую среду посредством конвективного теплообмена и излучения.

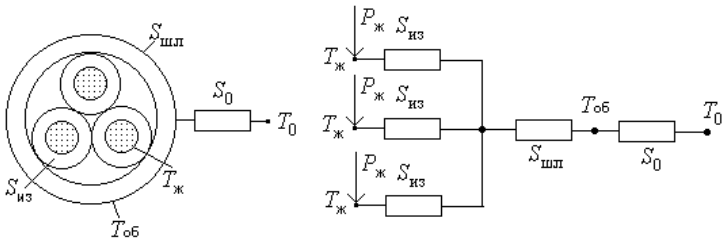


Рис. 3. Тепловая схема замещения трехжильного кабеля.

Перепад температуры между жилой и окружающей средой может быть в этом случае представлен:

$$T_{ж} - T_0 = P_{ж} S_{из} + 3P_{ж}\left(S_{шл} + S_0\right) = P_{ж}\left(S_{из} + 3\left(S_{шл} + S_0\right)\right), \quad (1)$$

где $T_{ж}$ и T_0 – температуры жилы и окружающей среды соответственно; $P_{ж}$ – мощность джоулевых потерь в жиле; $S_{из}$, $S_{шл}$, S_0 – тепловые сопротивления изоляции, шланга (оболочки) и окружающей среды соответственно.

Из (1) можно выразить величину допустимого тока для кабеля исходя из максимальной длительно допустимой температуры изоляции ($T_{из}$):

$$I = \sqrt{\frac{T_{из} - T_0}{R_{ж}\left[S_{из} + 3\left(S_{шл} + S_0\right)\right]}}. \quad (2)$$

Сопротивление теплопередачи от поверхности кабеля в воздух (S_0) зависит от различных факторов, таких как диметра кабеля, состояние его поверхности, разность температур между кабелем и воздухом и т.д. На рис. 4 представлена зависимость теплового сопротивления окружающей среды от величины зазора в свету между кабелями, полученная из экспериментальных данных как отношение перепада температур между оболочкой кабеля и окружающей средой к мощности джоулевых потерь в жилах. Из рисунка видно, что при наличии даже незначительного зазора между кабелями тепловое сопротивление среды резко снижается. С ростом токовой нагрузки кабеля растет температура его оболочки и происходит снижение теплового сопротивления среды, как за счет роста конвективной составляющей, так и за счет увеличения теплоотдачи излучением.

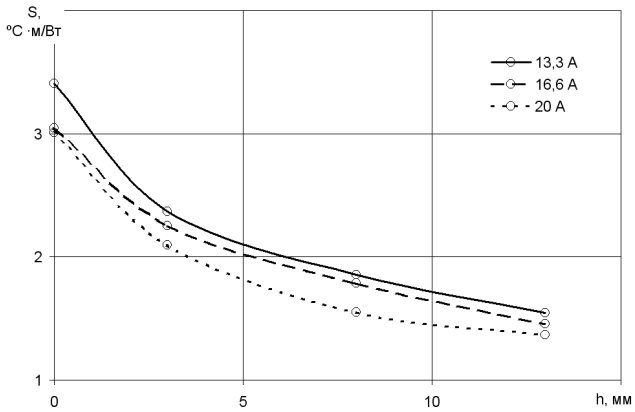


Рис. 4. Теплового сопротивления окружающей среды (S) от величины зазора в свету между кабелями (h).

Расчет конвективной теплопередачи для одиночно проложенного кабеля может быть произведен по критериальным уравнениям подобия теории теплопередачи, а тепловой поток излучения с поверхности – уравнением Стефана – Больцмана [4,5]. Однако для случаев прокладки кабелей в пучке такой подход применить не возможно, что требует применения численного моделирования процессов тепломассопереноса, возникающих при охлаждении кабелей в воздушной среде [2,3].

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 60287 -1-1-2009;. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. – пункт 1.4. – 5с.
2. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю., Савченко В.Г.* Определение эксплуатационных характеристик кабелей, проложенных в кабельном канале // Электротехника. 2011. № 11. С. 16–19.
3. *Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М.* Исследование конвективного теплообмена в кабельном канале, проложенном в земле // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2012. №1. С. 93–103.
4. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергия. 1975. 488 с.
5. *Крейт Ф., Блейк У.* Основы теплопередачи. М.: Мир. 1983. 512 с.

05.09.02

Н.М.Труфанова, М.В. Бачурина, А.В. Бондаренко

Пермский национально исследовательский политехнический университет,
электротехнический факультет, кафедра конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕХСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS FLUENT

Данная статья посвящена определению полей скоростей, функций тока и границ раздела потоков полимеров с различными физико–реологическими свойствами при совместном наложении трех слоев полимерного покрытия, определению зависимостей толщин накладываемых слоев изоляции и полупроводящих материалов от значений расходов для каждого материала. Реализация сформулированной математической модели течения осуществлялась с помощью численного метода конечных элементов в программных пакетах Ansys Fluent.

Ключевые слова: *трехслойное течение, стратифицированное течение, границы раздела потоков полимеров.*

В процессе соэкструзии возникает проблема нестабильности границ раздела между слоями. Поэтому при конструировании канала головки необходимо учитывать не только профили скоростей и температур, но и положение границ между слоями. Границы раздела можно определить на основе соотношения объемных расходов отдельных материалов. [1] Разработке модели стратифицированного течения посвящены исследования известных авторов (Ч. Д. Хан, В.И. Янков, и др.) Однако, проблема определения границ раздела между слоями расплавов остается малоизученной. [2]

Постановка задачи

Схема расчетной области трехслойного потока полимерных жидкостей представлена на рис. 1. [3]

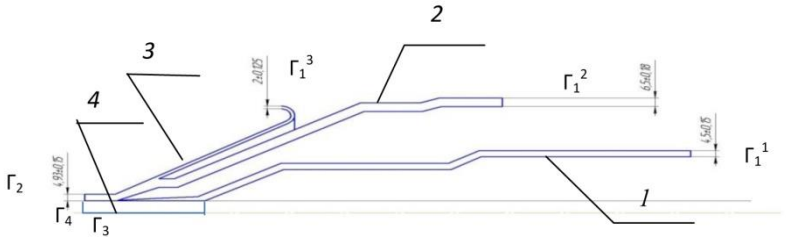


Рис. 1- Схема расчетной области трехслойного потока полимерных жидкостей: *1*-Первый слой полимера, *2*- второй слой полимера, *3*-третий слой полимера, *4*-фрагмент дорна

В работе были сделаны следующие допущения: 1. Процесс стационарный; 2. среда несжимаемая; 3.теплофизические характеристики постоянны; 4. жидкости несмешиваемые, без упругих свойств, 5. задача осесимметричная. С учетом сделанных ранее допущений система дифференциальных уравнений, основанная на законах сохранения, для каждого слоя жидкости имеет следующий вид [4]:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(r\cdot v_r)}{\partial r}+\frac{\partial v_\zeta}{\partial \zeta}=0 \qquad (1)$$

Уравнения движения:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(2\mu_э^i\cdot\frac{\partial(v_r)}{\partial r}\right)+\frac{2\mu_э^i}{r}\cdot\frac{\partial(v_r)}{\partial r}-\frac{2\mu_э^i v_r}{r^2}+\frac{\partial}{\partial \zeta}\left[\mu_э^i\cdot\left(\frac{\partial(v_\zeta)}{\partial r}+\frac{\partial(v_r)}{\partial \zeta}\right)\right]=\frac{\partial P}{\partial r}$$

$$\frac{\partial}{\partial r}\left[\mu_э^i\cdot\left(\frac{\partial(v_\zeta)}{\partial r}+\frac{\partial(v_r)}{\partial \zeta}\right)\right]+\frac{\mu_э^i}{r}\cdot\left(\frac{\partial(v_\zeta)}{\partial r}+\frac{\partial(v_r)}{\partial \zeta}\right)+\frac{\partial}{\partial \zeta}\left(2\mu_э^i\cdot\frac{\partial(v_\zeta)}{\partial \zeta}\right)=\frac{\partial P}{\partial \zeta} \qquad (2)$$

Уравнение энергии:

$$\rho^i C^i \cdot \left(v_r \frac{\partial(T)}{\partial r} + v_\zeta \frac{\partial(T)}{\partial \zeta} \right) = + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r \lambda^i \frac{\partial(T)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\lambda^i \cdot \frac{\partial(T)}{\partial \zeta} \right) + \Phi \quad (3)$$

Система уравнений (1)–(3) замыкается реологическим уравнением состояния нелинейно-вязкой жидкости в форме степенного закона (4).

$$\mu_э = \mu_0 e^{-\beta(T-T_0)} \left(\frac{I_2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}} \quad (4)$$

В уравнениях (1)–(4) ρ — плотность, P— давление, C – теплоемкость, λ - теплопроводность, Ф – диссипативный источник тепла, r, z– радиальная и продольная цилиндрические координаты, T – температура, τ_{ij}, $\dot{\gamma}_{ij}$ — компоненты тензора напряжений и скоростей деформации, q - поток тепла, $\mu_э$,μ_0-эффективная и начальная вязкости, v_r и v_z - компоненты вектора скорости, i – индекс номер слоя, β - температурный коэффициент вязкости, n – коэффициент аномалии вязкости, I2 – II инвариант тензора скоростей деформации.

Граничные условия

1) На стенках компоненты скорости равны нулю, выполняются условия прилипания и не проникновения, температура 170 ^oC; 2) на входе в каналы задавались прямоугольные эпюры скоростей, рассчитанные из заданного массового расхода; 3) на выходе – граничные условия II рода по скорости и температуре; 4) температура расплавов на выходе из экструдеров 150 ^oC; 5) температура стенки дорна 110 ^oC; [3] 6) на границах раздела потоков задавались следующие граничные условия (ур. 5-8):

по потокам тепла

$$q_r|_1 = q_r|_2; \quad q_\zeta|_1 = q_\zeta|_2;$$
$$q_r|_2 = q_r|_3; \quad q_\zeta|_2 = q_\zeta|_3; \quad (5)$$

по скоростям

$$v_r|_1 = v_r|_2; \quad v_\zeta|_1 = v_\zeta|_2$$
$$v_r|_2 = v_r|_3; \quad v_\zeta|_2 = v_\zeta|_3 \quad (6)$$

по напряжениям

$$(\tau_{rr}\cos(r,n) + \tau_{r\zeta}\cos(\zeta,n))|_1 = (\tau_{rr}\cos(r,n) + \tau_{r\zeta}\cos(\zeta,n))|_2$$
$$(\tau_{r\zeta}\cos(r,n) + \tau_{\zeta\zeta}\cos(\zeta,n))|_1 = (\tau_{r\zeta}\cos(r,n) + \tau_{\zeta\zeta}\cos(\zeta,n))|_2$$
$$(\tau_{rr}\cos(r,n) + \tau_{r\zeta}\cos(\zeta,n))|_2 = (\tau_{rr}\cos(r,n) + \tau_{r\zeta}\cos(\zeta,n))|_3 \quad (8)$$
$$(\tau_{r\zeta}\cos(r,n) + \tau_{\zeta\zeta}\cos(\zeta,n))|_2 = (\tau_{r\zeta}\cos(r,n) + \tau_{\zeta\zeta}\cos(\zeta,n))|_3$$

по температуре на границах раздела потоков

$$T|_1 = T|_2; \quad T|_2 = T|_3 \quad (7)$$

где индексы 1, 2, 3 – номера слоев полимеров (рис. 1).

Математическая модель

Значения теплоемкости и теплопроводности для всех слоев равны c=2500 *Дж/кг/°С,* λ =0,182 *Дж/м/с/°С.* Для первого и третьего слоя*:* μ_0=38523 Па*с, β=0,0027 1/К, ρ =1080 кг/м^3, n=0,251. Для второго слоя μ=14946 Па*с, β=0,0168 1/К, ρ =779 кг/м^3, n=0,542 [3] Массовый расход изоляции равен 0,1558 кг/с, для экранов равен 0,216 кг/с.

Анализ сходимости

Для определения достаточного количества конечных элементов были проведены исследования, заключающиеся в анализе распределения потоков и координат границ раздела потоков для различных сеток одинакового размера (рис. 2).

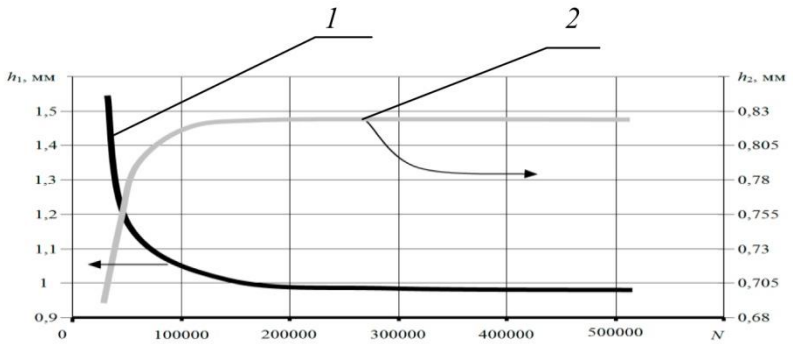


Рис. 2- Зависимость температуры от количества конечных элементов. *1*-внешний экран по изоляции (h_1), *2*- внутренний экран по изоляции (h_2)

Из рис. 2 видно, что при увеличении количества конечных элементов выше 200000 характер распределения потоков не менялся. Таким образом, к расчету принято значение 200000 конечных элементов.

Анализ полученных результатов

В результате численных исследований были построены поля скоростей и изменение функций тока для трубной (рис. 3 а, б)) кабельной головки. На рис.3 а) формируются три изоляционных слоя в канале, однако толщины слоев значительно отличаются от номинальных значений (экран по жиле - 0,6 мм, изоляция - 3,2 мм и экран по изоляции - 0,5 мм). Для получения, заданных размеров слоев, были проведены численные исследования влияния величин массовых расходов (рис.4).

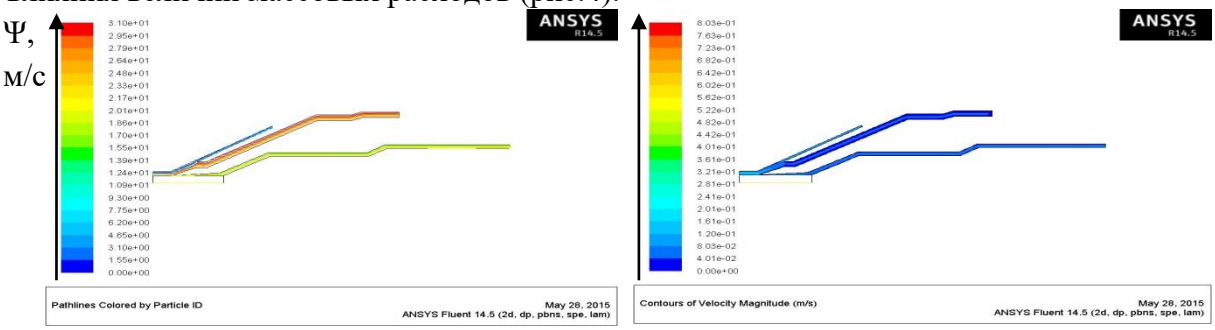


Рис. 3- а) Изменение функции тока в модели течения, б) изменение скорости в модели течения, построенной в программе FLUENT

Поле скоростей приведено на рис. 3. б). Наибольшая скорость потока наблюдалась в самом узком сечении канала, что объясняется малым поперечным сечением и высоким перепадом давления.

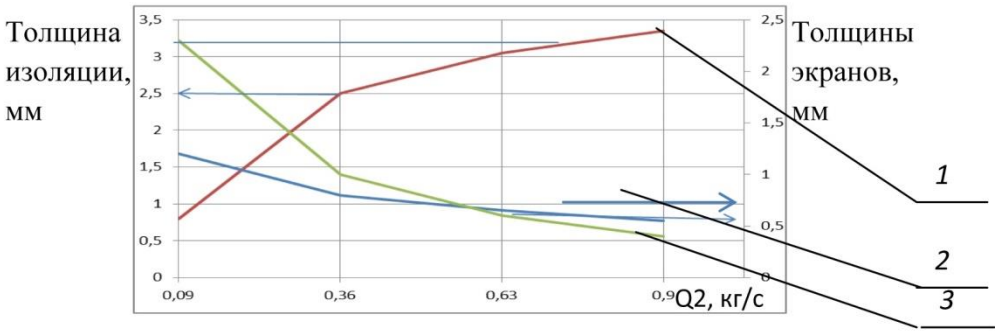


Рис. 4- Изменение толщин слоев при изменении расхода материала изоляции.
1 — изоляция, *2* — экран по жиле, *3* —экран по изоляции.

Наиболее существенно влияние значение расхода второго слоя (рис.4). При значении расхода 0,74 кг/с для материала изоляции, 0,12 кг/с - для экрана по жиле и 0,25 кг/с для экрана по изоляции заданные толщины полимерных слоев на выходе из канала равны номинальным.

Заключение

Разработана модель процесса совместного течения трех полимерных жидкостей. Произведена оценка влияния массовых расходов полимерной изоляции на толщины изолирующих слоев. Регулирование данного параметра оказывает влияние на стабильность границ раздела совместных участков течения и значения толщин экструдируемых слоев.

Список литературы

1. *Микаэли В*. Экструзионные головки для пластмасс и резины: конструкции и технические расчеты // Пер. с англ. яз.; Под ред. В.П. Володина. – СПб.: Профессия, 2007 г. –с. 322

2. *Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Численные исследования режимов стратифицированного течения и методика управления процессом экструзионного наложения многослойной изоляции, // Известия Томского политехнического университета, Томск 2012 Т. 320. № 4. с.169

3. *Бачурина М.В., Казаков А.В., Труфанова Н.М.* Математическое моделирование процесса стратифицированного течения расплавов полимеров в осесимметричной постановке // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика 2014 №02 Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. — 105 с

4. *Юрыгин, П. П.* Метод численного расчета стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах, // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань. – 2013. – № 2. – С. 53.

05.00.00

Н.М. Труфанова, Н.А. Костарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ

В данной работе рассматривается проблема образования асфальто-смоло-парафиновых отложений при эксплуатации нефтяной скважины. Была разработана математическая модель процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине, реализация которой позволит определять области возможного выпадения парафина и условия предотвращения этого явления. Было исследовано влияние дебита и температуры забоя на длину участка возможного выпадения парафина.

Ключевые слова: *парафины, ANSYS Fluent, тепломассоперенос, нефтяная скважина.*

Одной из самых наболевших проблем в нефтяной отрасли, как при добыче нефти, так и при ее транспортировке является выпадение парафиновых отложений на внутренних поверхностях стенок труб, по которым движется нефтяная жидкость. Решение задачи по предотвращению формирования асфальтосмолопарафиновых отложений позволяет снизить текущие и капитальные затраты в технологии нефтедобычи.

Постановка задачи.

Рассматривается продольное сечение скважины глубиной 2000м. Конструкция скважины изображена на рисунке 1.

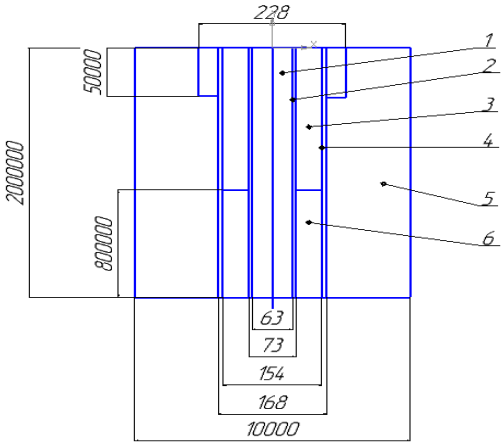


Рис. 1 Конструкция нефтяной скважины. 1) Нефтяная жидкость, которая добывается насосно-компрессорной трубой. 2) Насосно-компрессорная труба. 3) Воздух в затрубном пространстве. 4) Обсадная колонна. 5) Грунт, окружающий скважину. 6) Нефтяная жидкость, в затрубном пространстве.

Математическая модель движения и теплопереноса в нефтяной скважине основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии.

Были сделаны следующие допущения: задача плоская, стационарная, течение ламинарное, теплофизические свойства твердых материалов и нефтяной жидкости не зависят от температуры, бесконечный массив земли заменен ограниченной областью, нефтяная жидкость - однородная среда.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений имеет вид

Уравнение движения:

$$U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\mu\frac{\partial U_x}{\partial y} \qquad (1)$$

$$U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\frac{\partial U_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\mu\frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{g\beta(T - T_0)}{\rho}, \quad (2)$$

Уравнение неразрывности:

$$\rho\left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y}\right) = 0, \quad (3)$$

Уравнение энергии для воздуха:

$$\rho c\left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y}\right) = \frac{\partial}{\partial}\lambda_B \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial}\lambda_B \frac{\partial t}{\partial y}, \quad (4)$$

Уравнение теплопроводности для нефтяной скважины:

$$\rho c\left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y}\right) = \frac{\partial}{\partial}\lambda_H \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial}\lambda_H \frac{\partial t}{\partial y} + q_V, \quad (5)$$

Уравнение теплопроводности для массива земли:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_З \frac{\partial}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_З \frac{\partial t}{\partial y}\right) = 0, \quad (6)$$

где x, y, – декартовые координаты; U_x, U_y – компоненты вектора скорости нефти в насосно-компрессорной трубе; t – температура, °С; P – отклонения давления воздуха от гироскопического; g – ускорение свободного падения; ρ, μ – плотность и вязкость нефти; q_v - мощность внутреннего диссипативного источника тепла; $\lambda_З$ – теплопроводность земли, λ_B – теплопроводность воздуха, λ_H – теплопроводность нефтяной жидкости.

Система дифференциальных уравнений замыкается (2.1)-(2.6) следующими граничными условиями: На краю земли, окружающей скважину, задается температура соответствующая геотерме:

$$T|_{гр.зем.} = T(h), \quad (2.7)$$

Для скоростей в центре скважины задается условие максимума скорости, а на стенке НКТ задаются условия прилипания и не проникновения.

На границе раздела разнородных сред задается равенство тепловых потоков:

$$\lambda_n \frac{\partial T^{(n)}}{\partial x}|_{X1} = \lambda_n \frac{\partial T^{(n)}}{\partial x}|_{X2} \quad (2.8)$$

В забое скважины задается температура забоя (Т=100 °С) и расход через столб насосно-компрессорной трубы (40 т/сут):

$$T|_{y=0} = T_{забоя}, \quad (2.9)$$

$$Q|_{y=0} = Q|_{y=2000}, \quad (2.10)$$

Таблица 2.3.1. Свойства конструктивных элементов

Материал	Плотность ρ, кг/м^3	Теплоемкость С, Дж/(кг°К)	Теплопроводность λ Вт/(м°К)	Вязкость кг/(м·с)
Грунт	1900	1680	1,82	-
Цемент	1400	750	0,346	-
Сталь	8030	502,48	16,27	-
Нефть	0,6215	1025,77	0,0441	2,85e-05

Результаты исследования

В работе проведено исследование влияния температуры забоя и дебита на температурное поле скважины. В результате были получены температурные поля, а так же графики распределения температуры на внутренней стенке насосно-компрессорной трубы.

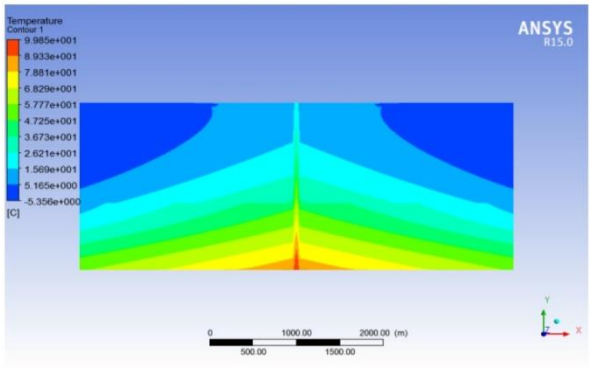


Рис. 4.1.1. Температурное поле земельного массива вокруг скважины

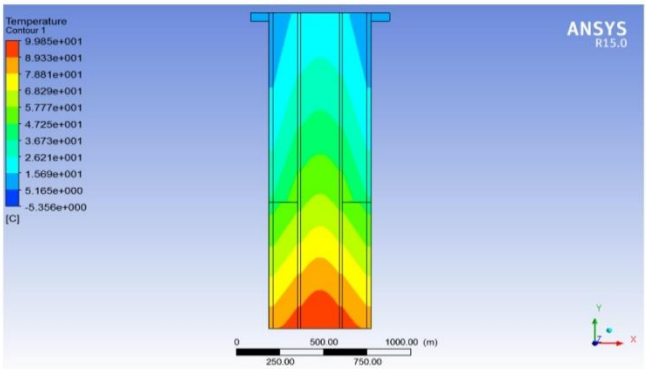


Рис. 4.1.2. Температурное поле скважины при $T_з = 100°C$ и Q=40т/сут

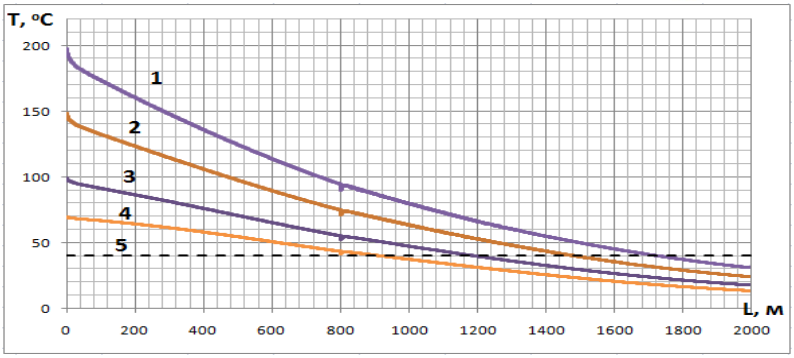


Рис. 4.1.6. Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различной температурой забоя. *1* - $T_з = 200^oC$; *2* - $T_з = 150^oC$; *3* - $T_з = 100^oC$; *4* - $T_з = 70^oC$; *5* – температура выпадения парафина.

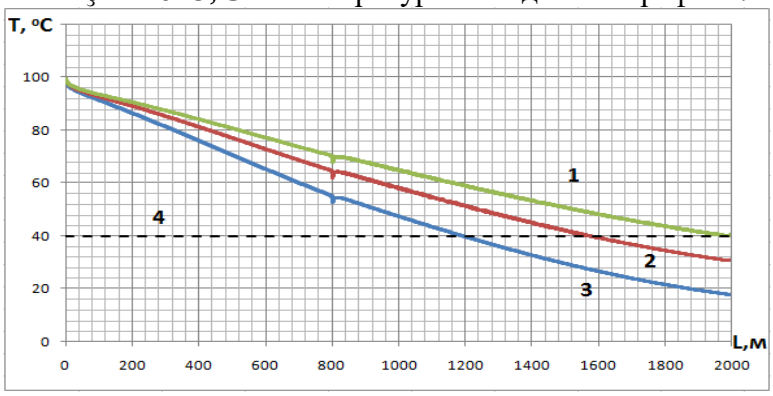


Рис. 4.2.1. . Распределения температур на стенке насосно-компрессорной трубы по глубине для скважин с различным дебитом. *1* - $Q = 80\ м/сут$; *2* -$Q = 60\ м/сут$; *3* - $Q = 40\ м/сут$; *4* – температура выпадения парафина.

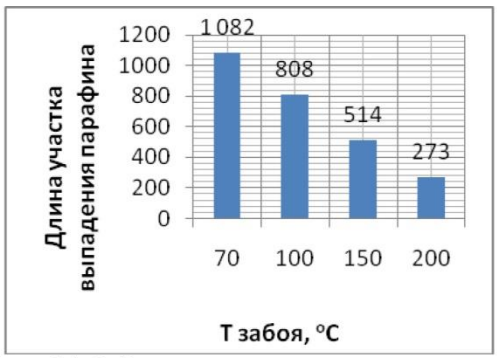


Рис. 4.1.7. Зависимость длины участка выпадения парафина от температуры забоя.

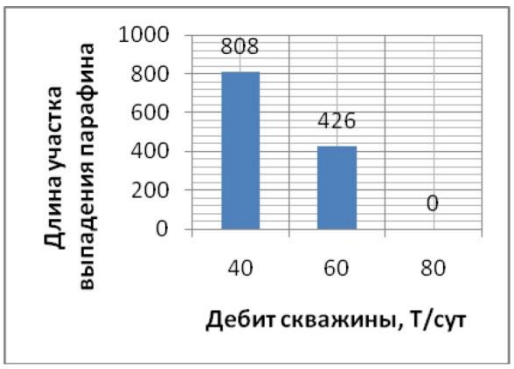


Рис. 4.2.3. Зависимость длины участка выпадения парафина от дебита скважины.

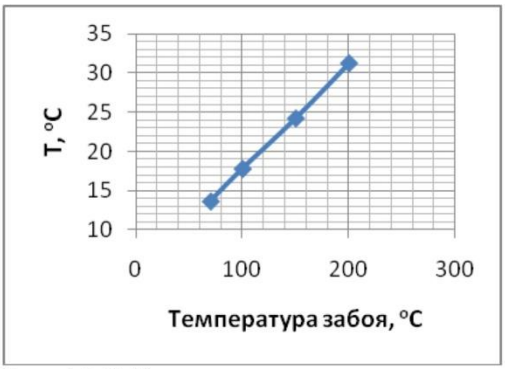


Рис. 4.1.8. Зависимость температуры устья скважины от температуры забоя.

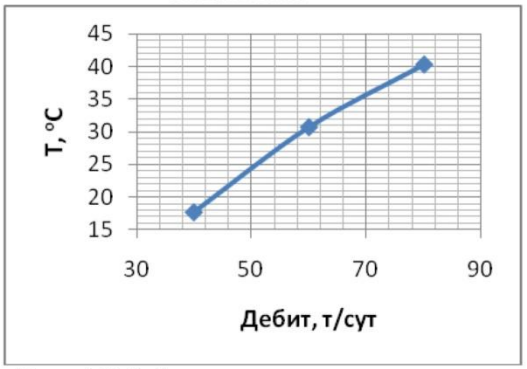


Рис. 4.2.4. Зависимость температуры устья скважины от дебита.

Разработанная модель процесса тепломассопереноса в нефтяной скважине, позволяет оценить длину участка возможного парафинообразования. По результатам исследований можно сделать вывод, что длина участка возможного отложения парафина сильно зависит от дебита и температуры забоя. С ростом дебита и температуры забоя, длина участка уменьшается, что является благоприятным фактором при работе нефтяной скважины.

Список литературы

1. *Ковригин Л.А., Труфанова Н.М., А.Е. Буренков, В.В. Смильгевич* Температурное поле нагревательного кабеля в нефтяной скважине // Информационные управляющие системы: Межвуз. Сб. науч. Тр./ Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2001, с.143-145.

2. *Tarom N., Hossain M.M.* Using ANSYS to Realize a Semi-Analytical Method for Predicting Temperature Profile in Injection/Production Well // World Academy of Science, Engineering and Technology 72 2012

3. *Ковригин Л.А., Макиенко Г.П.* Моделирование температурного поля нефтяной скважины с греющим кабелем с целью депарафинизации.

05.13.01

А.Ю. Тужилкин, А.А. Захаров

Муромский институт (филиал) Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, кафедра САПР, г. Муром, ay-tuzhilkin@ya.ru, aa-zaharov@ya.ru,

НАХОЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБЛИЖЕННОГО СРАВНЕНИЯ ГРАФОВ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-01612, задания на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России (проект № 2918)

В работе рассматривается задача нахождения соответствий на изображениях с использованием графов. Для нахождения соответствий на начальном этапе используются дескрипторы компьютерного зрения. Для исключения ложных соответствий применяется приближенное сравнение графов. Графы строятся на основе выделенных особенностей. Приведены результаты работы алгоритма.

Ключевые слова: *нахождение соответствий, приближенное сравнение графов, компьютерное зрение*

Введение. Задача нахождения соответствий на изображениях является наиболее важной в компьютерном зрении. Нахождение соответствий используется при распознавании образов, отслеживании движения объектов, реконструкции трехмерных сцен, автономной навигации [1-4]. Успешность нахождения и сопоставления особенностей во многом зависит от временных различий съемки, углов съемки, характеристик датчиков. Кроме того, существенные ограничения накладывают не только параметры съемки, но и геометрические и физические характеристики самой сцены: расположение источника света и элементов сцены, отражательные и рассеивающие свойства поверхностей. При разработке методов нахождения соответствий пытаются достичь следующих показателей: полной автоматизации процесса; устойчивости к шумам, перекрытиям, оптическим эффектам; высокой скорости обработки, инвариантности к аффинным преобразованиям; возможности обработки снимков с различными фотометрическими характеристиками, масштабом и т.д.

Для повышения точности сопоставления предлагается использовать информацию о взаимном расположении точек на стереоизображениях с использованием графов.

Обзор существующих методов нахождения соответствий. Для нахождения соответствий на изображениях используются детекторы и дескрипторы. Детектор – это метод нахождения особенностей на изображении. Детекторы в компьютерном зрении обычно выделяют в три категории [4-6]:

– детекторы ребер: оператор Робертса, оператор Превитта, оператор Собела, преобразования Хафа, оператор Кэнни;

– детекторы углов: Харриса, SUSAN, FAST, AGAST, STAR;

– детекторы областей: SIFT, SURF, MSER.

Дескриптор представляет собой метод, который выделяет и сравнивает признаки особенностей изображения. Наиболее известными дескрипторами являются: SIFT, SURF, DAISY, ORB, BRIEF, BRISK, HoG [4, 6]. Недостатком существующих подходов является то, что приходится сопоставлять отдельные особенности на двух изображениях, что приводит к ошибкам при нахождении соответствий.

Важной задачей при использовании дескрипторов является уменьшение количества ложных соответствий. Одним из подходов для уменьшения ошибок первого рода является использование метода RANSAC (RANdom SAmple Consensus). В этом случае на основе обнаруженных особенностей находится преобразование, при котором количество

совмещаемых точек является максимальным. Следует отметить, что результаты метод RANSAC часто зависят от особенностей конкретной реализации.

Для повышения точности сопоставления предлагается использовать информацию о взаимном расположении точек на изображениях. При этом происходит сопоставление не отдельных точек, а структур, представленных в виде графов.

Алгоритм нахождения соответствий на основе приближенного сравнения графов. Для исключения ложных соответствий используется сингулярное разложение матриц [7]. Пусть имеются два множества соответствий $S_1 = \{f_{1i} \mid i = 1,\ldots,m\}$ и $S_2 = \{f_{2j} \mid j = 1,\ldots,m\}$, которые получены на основе изображений I_1 и I_2. Для представления графа на основе особенностей строится матрица расстояний G:

$$G_{ij} = e^{-\frac{r_{ij}^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $r_{ij} = \| f_{1i} - f_{2j} \|$ – расстояние между особенностями f_{1i} и f_{2j}; σ – коэффициент, который регулирует степень взаимодействия между особенностями.

Значения элементов матрицы G находятся в диапазоне от 0 до 1.

Степень соответствия предлагается описывать за счет использования коэффициента K. Если соответствие на основе некоторого дескриптора найдено, то K =1, иначе K =0.

Алгоритм нахождения соответствий в этом случае примет имеет вид.

Шаг 1. Построение матрицы расстояний G.

Шаг 2. Выполнение сингулярного разложения матрицы G: $G = TDU$, где D – матрица собственных значений; T и U – матрицы собственных векторов.

Шаг 3. Вычисление матрицы соответствий P путем замены матрицы D на единичную матрицу E: $P = TEU$.

Шаг 4. Вычисление матрицы $M_{ij} = K_{ij} P_{ij}$, где K – матрица коэффициентов, определяющих наличие соответствия между i-ой и j-ой особенностями первого и второго изображений.

Шаг 4. Формирование бинарной матрицы L. Идея состоит в том, чтобы получить на основе матрицы M матрицу L, в которой значения равные 1 свидетельствуют о наличии соответствий между особенностями f_{1i} и f_{2j}. Если текущий элемент матрицы M является максимальным в строке и в столбце, то в бинарную матрицу L записывается значение 1, иначе записывается значение равное 0. Если значение элемента матрицы L равно нулю, то соответствий между особенностями не существует. Если значение элемента матрицы L равно единице, то соответствия между особенностями с индексами равными номерам строк и столбцов присутствуют. Для значений матрицы M, устанавливается порог $0 < z < 1$. Если значение $M_{ij} < z$, то найденное соответствие на основе используемого дескриптора исключается из рассмотрения. В этом случае в матрицу L записывается значение 0.

Исследование разработанного алгоритма. Исследования алгоритма проводились на 30 стереопарах спутниковых изображений (рис. 1). На начальном этапе соответствия находились на основе метода SURF.

Значение коэффициента σ устанавливается равным расстоянию d между наиболее удаленными особенностями изображения, для которых найдено соответствие. При значениях σ, меньших расстояния d в несколько раз, элементы матрицы G_{ij} стремятся к нулю, что затрудняет сравнение. При значениях σ, больших расстояния d в несколько раз, элементы матрицы G_{ij} стремятся к единице, что также приводит к ошибочным результатам.

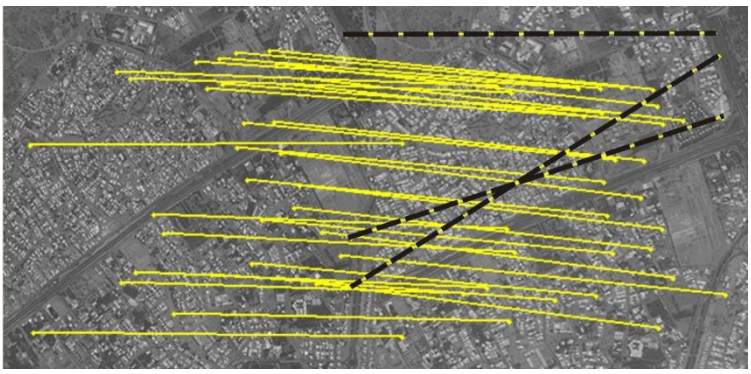


Рис. 1 – Нахождение ложных соответствий с использованием разработанного алгоритма (ложные соответствия выделены темными пунктирными линиями)

При выборе порога установлено, что с уменьшением z количество ложных соответствий увеличивается, а при повышении – уменьшается. В ходе экспериментов было установлено, что при пороге равным 0.6 исключается почти 90 % ложных соответствий (рис. 2).

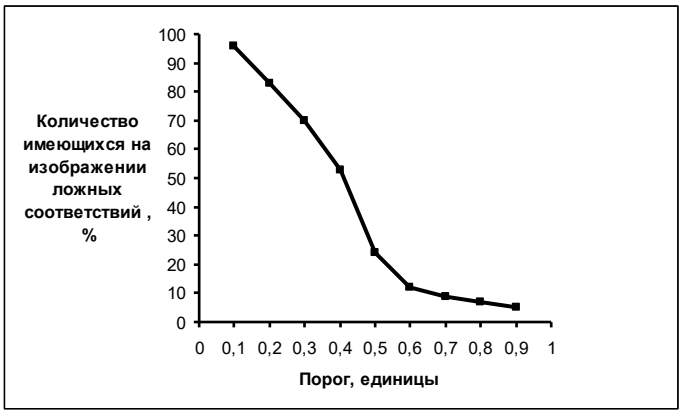


Рис. 2. График, отображающий зависимость количества ложных соответствий от выбранного порога z

Заключение. Разработан алгоритм нахождения соответствий с использованием приближенного сравнения графов. Предложена модель описания образа с использованием особенностей, объединенных в граф. Предложенный подход позволяет исключить значительную часть ложных соответствий, найденных с использованием существующих дескрипторов.

Список литературы

1. *Захаров А.А.* Разработка алгоритмов реконструкции трёхмерных объектов по проекциям// Научно-технический вестник Поволжья. 2010. – № 1. – С. 82-85.

2. *Захаров А.А.* Автоматический синтез протяженных трехмерных сцен с использованием системы компьютерного зрения// Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. – Т. 55. № 2. – С. 24-26.

3. *Захаров А.А., Тужилкин А.Ю.* Синтез трехмерных сцен по видеоизображениям с использованием априорной информации// Научно-технический вестник Поволжья. 2013. – № 5. – С. 163-165.

4. *Szeliski R.* Computer Vision: Algorithms and Applications. – Springer-Verlag New York Inc. 2010. – 979 p.

5.*Орлов А.А., Ермаков А.А.* Технология сравнения и идентификации растровых изображений линий// Программные продукты и системы. 2008. – № 1. – С. 68-70.

6. *Le Moigne J., Netanyahu N.S., Eastman R.D.* Image Registration for Remote Sensing. - Cambridge university press. 2011. – 484 p.

7. *Scott G., Longuet-Higgins H.* An algorithm for associating the features of two images// Proceedings of Royal Society London. 1991. – pp. 21-26.

05.13.18

О.И. Усович, Н.М. Труфанова д.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ УПЛОТНЕНИИ КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА

Для территорий с плотной инфраструктурой в стесненных городских условиях, зачастую, единственный способ передачи больших мощностей электрической энергии являются линии, проложенные в подземном канале. Однако при распределении электрической энергии в большинстве случаев внутреннее пространство подземных сетей используется неэффективно и в ряде случаев не соответствует правилам безопасности при эксплуатации. В данной работе рассматривается проблема выбора рационального режима работы кабельных линий в уплотненном кабельном канале. В ходе работы была создана математическая модель кабельного канала с упрощенной геометрией кабелей. В результате реализации математической модели был найден рациональный режим работы кабельных линий.

Ключевые слова: *уплотненный кабельный канал, температурное поле, математическая модель, рациональный режим работы кабельного канала.*

В настоящее время существует проблема прокладки кабельных линий в городских условиях. Для увеличения эффективности использования внутреннего пространства все чаще используют уплотненные кабельные каналы. В статье «Снижения затрат при капитальном строительстве кабельных сооружений» в журнале «Кабель – News» [1] была приведен способ крепления кабелей, где предлагается дополнительно крепить кабели к нижней части полки тем самым уплотняя в два раза канал и увеличивая передаваемую нагрузку. В данной статье был определен рациональный способ работы кабельных линий.

Для исследования режимов работы кабельных линий была разработана математическая модель процессов тепломассопереноса в кабельном канале со следующими допущениями: течение ламинарное, теплопроводность материалов постоянна, сложная конструкция изоляции, оболочки и других конструктивных элементов кабеля заменена однородным монолитом с усредненными свойствами.

Кабельный канал проложен в земле (теплопроводность земли принята равной теплопроводности бетона), он представляет собой короб из бетона, внутри которого находится воздух. Кабельная линия состоит из 3 кабелей марки ПвП2г 1х150/35 - 20. Наружный диаметр составляет 36 мм, а диаметр ТПЖ 14 мм. Расстояние между кабелями – 70 мм. При решении задач учитывались естественной конвекции воздуха в кабельном канале, лучистый теплообмен, гравитационная составляющая для описания конвективного тепломассопереноса. Математическая модель движения и теплопереноса основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии . Были сделаны следующие допущения: течение ламинарное, теплопроводность материалов постоянна, сложная конструкция изоляции, оболочки и других конструктивных элементов кабеля заменена однородным монолитом с усредненными свойствами [3].

С учетом сделанных предположений система дифференциальных уравнений в двухмерной стационарной постановке, описывающих процессы тепломассопереноса в кабельном канале, имеет следующий вид:

Уравнение движения:

$$U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\mu\frac{\partial U_x}{\partial y} \qquad (1)$$

$$U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\mu\frac{\partial U_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\mu\frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{g\beta(T-T_0)}{\rho}, \quad (2)$$

Уравнение неразрывности:

$$U_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + U_y \frac{\partial \rho}{\partial y} = \rho\left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y}\right), \quad (3)$$

Уравнение энергии для воздуха:

$$\rho c\left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y}\right) = \frac{\partial}{\partial}\lambda\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial}\lambda\frac{\partial t}{\partial y}, \quad (4)$$

Уравнение теплопроводности для кабельных линий:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right) + q_v = 0, \quad (5)$$

Уравнение теплопроводности для массива земли:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right) = 0, \quad (6)$$

Плотность воздуха зависит от температуры по закону Буссинеска [3]:

$$\rho(T) = \rho_0[1-\beta(t-t_0)], \quad (7)$$

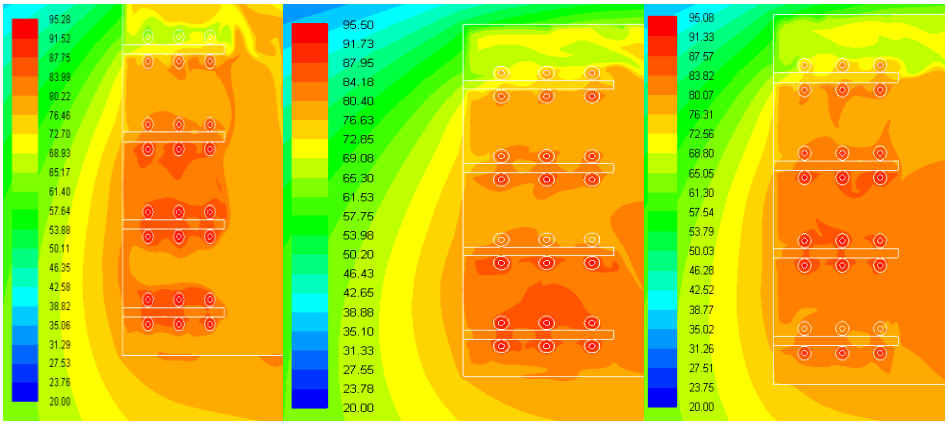
где x, y, – декартовые координаты; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха в канале; t – температура, °С; P – отклонения давления воздуха от гироскопического; g – ускорение свободного падения; ρ, μ – плотность и вязкость воздуха; ρ_0 – плотность воздуха при температуре t_0=20°С, q_v - мощность внутреннего источника тепла; β – температурный коэффициент плотности воздуха; λ – теплопроводность материалов.

Система дифференциальных уравнений (1) - (10) замыкается следующими граничными условиями: для скоростей ставиться граничное условие на поверхности стенки канала и кабелей - не проникновения и прилипание; на поверхности земли задано граничное условие третьего рода по температуре, коэффициент теплоотдачи α на поверхности земли равен 10 Вт/(м^2°С), а температура окружающей среды T_0 – 20°С; на остальных границах в массиве земли заданы адиабатические условия теплообмена; на границах контакта разнородных сред задавались граничные условия четвертого рода и условия сопряжения температур.

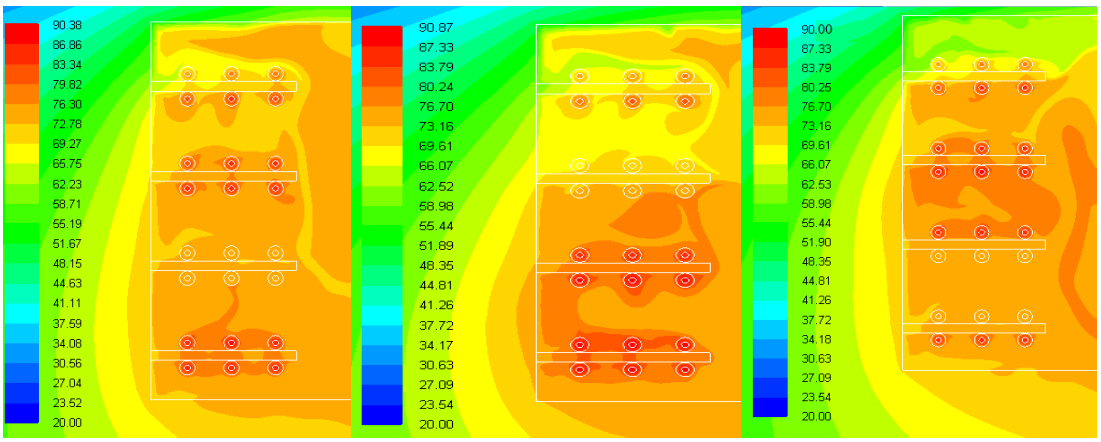
Начальное условие: начальное поле температур в любой точки имеет температуру 20 °С.

Лучистый теплообмен описывается, так же как и в статье [1].

В некоторых случаях потребителю необходимо поставить энергию с определенным значением номинального тока, но при номинальном токе использование уплотненного канала невозможно ввиду его перегрева. Для таких случаев целесообразно отключить одну или несколько кабельных линий. В результате были получены температурные поля для уплотненного кабельного канала при отключении одной из линий рис. 3. Остальные результаты занесены в таблицу 1. Кабельные линии нумеруются сверху по 3 кабеля в одну линию.



А) Б) В)



Г) Д) Е)

Рис. 3 Температурное поле внутри кабельного канала: а – при отключенной 1 линии; б – при отключенной 5 линии; в – при отключенной 7 линии; г – при отключенной 5 и 6 линии; д – отключенной 3 и 4 линии; е – при отключенной 6 и 7 линии.

Таблица 1.Максимальная изоляции кабелей в зависимости от отключенной кабельной линии.

Номер отключенной линии	Максимальная температура изоляции °С	Номер отключенной линии	Максимальная температура изоляции °С	Номер отключенной линии	Максимальная температура изоляции °С
1	2	3	4	5	6
1	95,28	1 и 6	90,49	3 и 7	90,65
1	2	3	4	5	6
2	94,83	1 и 7	91,44	3 и 8	90,96
3	94,66	1 и 8	91,14	4 и 5	91,31
4	94,33	2 и 3	91,38	4 и 6	91,11
5	94,5	2 и 4	90,71	4 и 7	90,68
6	94,24	2 и 5	91,6	4 и 8	90,66
7	95,08	2 и 6	90,91	5 и 6	90,38
8	94,15	2 и 7	92,06	5 и 7	91,07
1 и 2	91,53	2 и 8	91,77	5 и 8	90,26
1 и 3	91,91	3 и 4	90,87	6 и 7	90
1 и 4	91,78	3 и 5	91,28	6 и 8	90,45
1 и 5	91,09	3 и 6	91,86	7 и 8	90,78

Вывод: В результате работы выбран рациональный режим работы кабельных линии при уплотненном кабельном канале. При отключении любой из линий температура не снижается до допустимого значения. При отключении двух кабельных линий температура изоляции снижается до допустимого значения при отключении линий с наихудшим теплоотводом (линии 6 и 7).

Список литературы

1. *Н.М. Труфанова, Е.Ю. Навалихина, М.В. Марковский* «Математическое моделирование нестационарных процессов тепломассопереноса в прямоугольном кабельном канале» // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. - 2014 . - №11. – С.55-66

2. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука,1973. 848 с.

05.23.01

В.Б. Филатов к.т.н.

Самарский государственный архитектурно – строительный университет, факультет промышленного и гражданского строительства, кафедра строительных конструкций, Самара, vb_filatov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СИЛ ЗАЦЕПЛЕНИЯ В НАКЛОННОЙ ТРЕЩИНЕ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА

В работе рассматривается влияние сил зацепления в наклонной трещине на напряженное состояние сжатой зоны железобетонных балок в зоне поперечного изгиба. Предложена интерпретация результатов экспериментов на основе расчетной модели. Показано существенное влияние сил зацепления на распределение усилий в сечении.

Ключевые слова: *железобетонная балка, поперечный изгиб, наклонная трещина.*

Прочность изгибаемых железобетонных элементов на действие поперечной силы в действующих нормах [1] рассчитывают из условия, что усилия от внешних нагрузок, действующие в наклонном сечении, не должны превышать внутренних предельных усилий в этом сечении. Для балки без поперечного армирования внутренним расчетным усилием, определяющим несущую способность элемента при действии поперечных сил в соответствии с принятой в [1] расчетной моделью, является касательное усилие в сжатой зоне бетона Q_b. Аналитическое описание величины Q_b весьма затруднительно, поскольку железобетонная балка, являясь композитной конструкцией, в зоне поперечного изгиба находится в условиях плоского напряженного состояния, имеет нарушенную сплошность сечения, вследствие образования и развития трещин, а сам материал проявляет упруго – пластические свойства. Поэтому для описания величины Q_b традиционно используют эмпирический подход.

Эмпирическая зависимость для определения Q_b была предложена в [2], как функция от прочности бетона на сжатие и длины проекции наклонной трещины. Впоследствии прочность бетона на сжатие была заменена на прочность бетона при растяжении, что улучшило сходимость расчетных и опытных значений. Дальнейшие исследования [3] показали, что в наклонном сечении действуют усилия, в явном виде неучтенные в расчетной модели: касательное усилие в продольной растянутой арматуре (нагельный эффект) и силы зацепления по берегам наклонной трещины. Метод расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям с учетом усилия нагельного эффекта и сил зацепления по берегам наклонной трещины был предложен автором [4]. Однако, как указано в [5], в нормативной методике расчета эти усилия продолжали учитывать косвенно – через величину Q_b, вследствие недостаточно представительной базы экспериментальных данных.

Развитие методики расчета прочности наклонных сечений, учитывающее влияние нагельного эффекта и сил зацепления в наклонной трещине было предложено авторами [6, 7, 8]. Усилие в сжатой зоне бетона Q_b определяется по уточненной зависимости [6], позволяющей избежать дополнительных ограничений эмпирического характера, но в условии прочности усилие Q_b выражается через остальные компоненты напряженного состояния. Касательные усилия сопротивления сдвигу берегов наклонной трещины по предложению [7, 8] зависят от прочности бетона на растяжение и угла наклона трещины.

В работе [9] предложена расчетная модель наклонного сечения изгибаемого железобетонного элемента без поперечной арматуры (рис. 1). Особенностью предложенной модели является выделение в расчетных зависимостях сил зацепления в наклонной трещине как отдельной компоненты в совокупности усилий, обеспечивающих прочность наклонного сечения при расчете на действие поперечной силы. Схема усилий, действующих в наклонном сечении железобетонного элемента, принята в соответствии с [3].

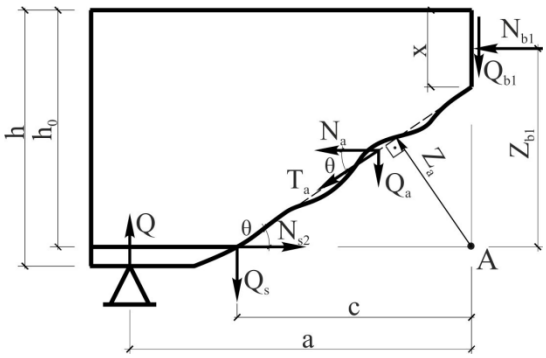


Рис. 1 – Расчетная модель наклонного сечения балки

Модель позволяет из рассмотрения условий равновесия блока над наклонной трещиной получить компоненты, входящие в условие прочности наклонного сечения изгибаемого элемента на действие поперечной силы:

$$Q \le Q_{b1} + Q_s + Q_a,$$

где Q_{b1} – касательное усилие в бетоне сжатой зоны в конце наклонной трещины, Q_s – касательное усилие в продольной растянутой арматуре в начале наклонной трещины (нагельный эффект), Q_a – вертикальная составляющая усилия зацепления по длине наклонной трещины.

Экспериментальное исследование напряженно – деформированного состояния зоны поперечного изгиба проводилось на железобетонных балках сечением 120×140 мм, продольное армирование выполнено из двух стержней класса А500 диаметром 14 мм. Поперечное армирование отсутствовало. Загружение образцов производилось сосредоточенными силами (пролет среза $1{,}5h_0$), поэтапно до исчерпания несущей способности.

В балке Б – 1 первые наклонные трещины появились при величине нагрузки в 64 кН. Разрушение балки произошло при нагрузке 157 кН по наклонному сечению от действия перерезывающей силы (рис. 2).

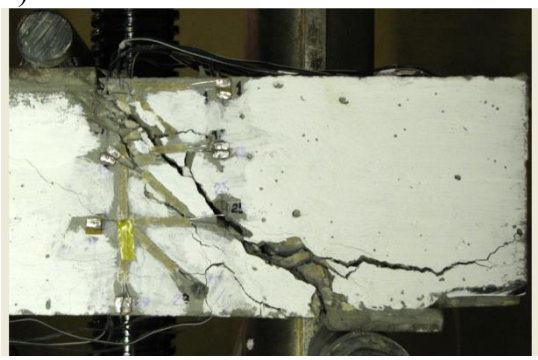


Рис. 2 – Зона поперечного изгиба балки Б-1 после разрушения

На рис. 3 показан график нагрузка – деформации бетона для тензодатчика на верхней (сжатой) грани балки в зоне поперечного изгиба.

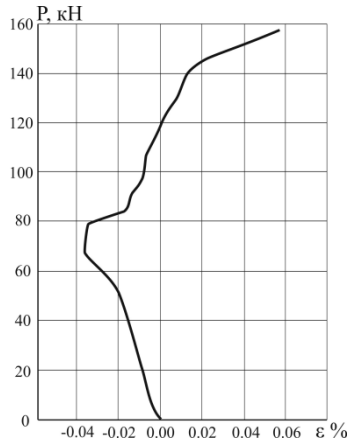


Рис. 3 – Деформации бетона на верхней грани в зоне поперечного изгиба

Следует отметить особенности развития деформаций на верхней грани балки. На начальном этапе нагружения тензорезистор фиксирует рост деформаций сжатия. К моменту образования наклонной трещины эти деформации невелики и не превышают 40×10^{-5} ЕОД. После образования наклонной трещины (64 кН) и дальнейшем нагружении балки деформации сжатия на верхней грани уменьшаются и переходят в деформации растяжения, которые при разрушении достигают величины 60×10^{-5} ЕОД.

Подобная схема деформирования наблюдалась и в экспериментальных исследованиях, результаты которых представлены в работе [10]. На графиках деформаций бетона верхней грани балок имеется перегиб в момент образования наклонной трещины, деформации при этом составляют 30 – 50×10^{-5} ЕОД. После образования наклонной трещины деформации на верхней грани либо перестают расти, либо снижаются и переходят в деформации растяжения, достигая 130×10^{-5} ЕОД.

Объяснение такому характеру деформирования сжатой грани балки в зоне поперечного изгиба можно дать, исходя из рассмотрения напряженного состояния блока над наклонной трещиной на рис. 1. Силы зацепления, возникающие после образования наклонной трещины, разгружают сжатую зону бетона над наклонной трещиной и догружают сжатую зону под ней. Равнодействующая сжимающих усилий в блоке над трещиной несколько опускается, вследствие появления новой составляющей (горизонтальная проекция сил зацепления) В результате смещения равнодействующей деформации в сжатой зоне бетона над наклонной трещиной уменьшаются, либо меняют знак, что свидетельствует о значительном влиянии сил зацепления в наклонной трещине на распределение усилий в наклонном сечении железобетонной балки, а, следовательно, и его прочность.

Список литературы

1. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СП 63.13330.2012: утв. Мин – вом рег. развития Рос. Федерации 29.12.11: ввод в действие с 01.01.13. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. 165 с.

2. *Боришанский, М.С.* Расчет железобетонных элементов при действии поперечных сил // Расчет и конструирование элементов железобетонных конструкций. Сб. тр. НИИЖБ. М. 1964. С. 122–143.

3. *Гвоздев, А.А.* Силы зацепления в наклонных трещинах / *А.А. Гвоздев, А.С. Залесов, И.А. Титов* // Бетон и железобетон. 1975. № 7. С. 44 – 45.

4. *Залесов, А.С.* Новый метод расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям // Расчет и конструирование железобетонных конструкций. Сб. тр. НИИЖБ. Вып. 39. М. 1977. С. 16–28.

5. *Гвоздев, А.А.* Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. / *А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, Ю.П. Гуща* и др. – М.: Стройиздат, 1978. 204 с.

6. *Карпенко, С.Н.* Построение критериев прочности железобетонных конструкций по наклонным трещинам разрушения // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2006. № 2. С. 54–59.

7. *Карпенко, Н.И.* О новом построении критериев прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил / *Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко* // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2006. № 3. С. 26–31.

8. *Карпенко, С.Н.* Об общем подходе к построению теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. 2007. № 2. С. 21 – 27.

9. *Филатов, В.Б.* Расчетная модель наклонного сечения железобетонной балки с учетом сил зацепления в наклонной трещине / *В.Б. Филатов, Е.В. Блинкова* // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 3. С. 39–42.

10. *Гвоздев, А.А.* Новое о прочности железобетона. / *А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, С.М. Крылов* и др. – М.: Стройиздат, 1977. 272 с.

05.23.19

[1]Д.А. Харлямов, [1]Р.Р. Зиннатов, [1]Г.В. Маврин к.х.н., [2]И.Г. Шайхиев д.т.н.

[1]Казанский (Приволжский) Федеральный Университет
кафедра химии и экологии, Набережные Челны, kharlyamov@gmail.com
[2]Казанский национальный исследовательский технологический университет
кафедра инженерной экологии, Казань, ildars@inbox.ru

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА

Получен композиционный сорбент на основе отходов древесного волокна и магнетита обладающий магнитными свойствами, исследованы его физические и сорбционные свойства, а также возможность использования для очистки сточных вод от тяжелых металлов, предложен способ регенерации и утилизации отработанного сорбента.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, древесное волокно, магнетит, сорбент.*

Наиболее сложным объектом очистки являются сточные воды (СВ) с примесью ионов тяжелых металлов (ИТМ). Большинство соединений, содержащих в своем составе ИТМ, сбрасываемых в составе СВ, обладают канцерогенным и мутагенным действием. Решение проблемы извлечения ИТМ в значительной мере связано, как с несовершенством применяемых технологий, так и с неэффективностью существующих способов очистки СВ предприятий.

Согласно литературным данным [1], большинство из нижеперечисленных методов, такие как флокуляция, коагуляция, цементация, химическое осаждение, электрохимические и биологические способы, наиболее эффективны при очистке высококонцентрированных стоков, позволяя извлечь из водной фазы большую часть содержащихся в них поллютантов. Но достигаемая при этом степень извлечения ИТМ, как правило, недостаточно высока. Ряд методов, таких как ионный обмен, жидкостная экстракция, адсорбция, ультрафильтрация и обратный осмос позволяют достигать глубокой степени очистки от ИТМ, однако, они обычно непригодны для переработки высококонцентрированных стоков из-за цикличности аппаратурных схем процессов очистки и низкой производительности одного цикла. Вследствие этого, часто бывает целесообразно использование комбинации различных методов очистки.

Одним из перспективных методов, простым в аппаратурном оформлении и экономичным, позволяющим проводить глубокую очистку малоконцентрированных по ИТМ загрязненных водных объектов, является адсорбционный процесс. Особый интерес при этом представляют сорбционные материалы (СМ) из отходов производства, содержащие в своем составе целлюлозу. Преимущества таких реагентов по сравнению с синтетическими материалами определяются химической природой полимерной матрицы и ее физико-химическими характеристиками, наличием различных функциональных групп. Большие запасы, низкая стоимость, возобновляемая сырьевая база, возможность утилизации определяют экономическую целесообразность использования последних для очистки СВ [2].

На основе вышеизложенного, целью рассматриваемой работы явилось повышение эффективности очистки СВ гальванического производства от ионов Cr^{6+}, Cu^{2+} и Pb^{2+} с помощью магнитного композиционного сорбента (МКС) на основе отходов древесного волокна (ОДВ) и магнетита (Fe_3O_4). Преимуществом такого СМ по сравнению с обыкновенными (немагнитными) состоит в том, что при контактной очистке СВ использование магнитных сорбентов существенно упрощает адсорбционный процесс за счет проведения сорбции на больших скоростях и легкости отделения сорбента от растворов путем магнитной сепарации [3, 4].

МКС получали путем осаждения на поверхности ОДВ частиц Fe_3O_4, образующихся в водном растворе, в результате обменной реакции:

$$FeCl_2 + 2FeCl_3 + 8NH_3 \bullet H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 8NH_4Cl + 4H_2O.$$

Осаждение проводилось под воздействием ультразвуковых колебаний при оптимальных температурах - не выше 25 ^oC при полуторном избытке осадителя – аммиачной воды. В качестве отходов использовалось волокно, образующееся при производстве МДФ плит различной древесной породы (сосна, береза, осина). ОДВ образуются на стадии формирования волокна в технологическом цикле производства МДФ и является браком, непригодным для дальнейшего использования. Волокно представляет собой систему хаотично уложенных, свободно распределенных в пространстве нитей, имеющих пространственно ориентированную структуру, которая, в свою очередь, позволяет поллютантам контактировать с большей поверхностью в единицу времени [5].

Согласно литературным данным [6] и проведенным экспериментам, основными компонентами ОДВ является целлюлоза (более 60 %) и лигнин (25-30 %). В состав ОДВ также входят карбамидные смолы, модифицированные меламином (до 20 мг/100 г), применяемые в качестве связующих элементов, длина волокон составляет 0,5–3 мм. Класс опасности ОДВ, установленный методом биотестирования [7, 8] – IV. Анализ химического состава синтезированного на поверхность волокна порошка магнетита проводился на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре марки «БРА-18», согласно полученным данным основным компонентом полученного порошка является Fe_3O_4.

По результатам измерений методом электрофоретического светорассеяния на анализаторе марки «NanoBrook Omni», полученный на поверхности ОДВ Fe_3O_4 по характеристике суспензии по дисперсности является полидисперсным, средний размер частиц Fe_3O_4, собранных в ассоциаты размером 400-500 нм, составил 20-50 нм. ζ-потенциал частиц при нейтральном pH составляет -8,5 мВ. Удельная площадь поверхности МКС измерялась методом БЭТ на волюметрическом адсорбтометре марки «Nova1000e» и составила 161 $м^2/г$.

Для оценки эффективности полученных СМ при очистке воды от ИТМ использовалась СВ гальванического производства. На сегодняшний день для удаления ИТМ на рассматриваемом производстве применяются реагентные методы, которые не обеспечивают в полной мере соблюдение нормативов по остаточному содержанию ИТМ. По результатам анализов установлено, что после применяемой на производстве химической нейтрализации наблюдается превышение нормативов по ионам Pb^{2+} более чем в 3 раза, по ионам Cr^{6+} – в 2 раза, по ионам Cu^{2+} – в 5 раз, что обуславливает необходимость применения дополнительных мероприятий для более глубокой очистки СВ.

Адсорбцию проводили на лабораторной фильтрационной установке путем пропускания СВ с заданным расходом через заполненные СМ стеклянные колонки диаметром 10 мм с перфорированным дном и длиной 150 мм. Высота слоя реагента составляла 100 мм, масса – 2 гр. Через адсорбционный слой пропускался определенный объем СВ. Начальная и конечная концентрации ТМ определялась методом атомно-эмиссионной спектроскопии на спектрометре марки «Agilent 720 ICP-OES». Для сравнения сорбционной способности исследуемых материалов был использован активированный уголь марки БАУ-А с размером частиц 0,5–1 мм. Результаты доочистки стоков от ИТМ при помощи МКС и отдельно его компонентов, а также характеристики СМ представлены в таблицах 1 и 2.

Согласно результатам экспериментов, наибольшие значения степени очистки и сорбционной емкости наблюдаются у Fe_3O_4, однако при этом затруднен процесс фильтрации, что связано с малым размеров частиц и высокой насыпной плотностью реагента. Для активированного угля скорость расхода очищаемой воды составила 0,1–0,3 $см^3$/мин, эффективность очистки по ИТМ составила 88 %. Высокую степень очистки и сорбционную емкость при высокой скорости протекания СВ (18–23 $см^3$/мин) проявил МКС; модифицирование поверхности волокна Fe_3O_4 позволило существенно увеличить сорбционную емкость ОДВ. Следует отметить, что сами по себе ОДВ обладают высокой степенью очистки от ионов свинца (91 %).

Таблица 1 – Степень очистки СВ от ТМ различными сорбентами

Сорбционный материал	Концентрация ТМ±Δ, мг/дм^3 n=3, P=0,95						Степень очистки, %		
	до очистки			после очистки					
	Pb	Cr	Cu	Pb	Cr	Cu	Pb	Cr	Cu
ОДВ	1,24±0,25	6,73±1,35	2,38±0,48	0,11±0,02	2,43±0,49	0,78±0,16	91	58	67
Fe_3O_4				0,04±0,01	0,26±0,05	0,19±0,04	97	95	92
МКС				0,06±0,01	0,42±0,08	0,34±0,07	95	93	86
БАУ-А				0,18±0,04	0,31±0,06	0,37±0,07	86	95	84
Норматив, мг/дм^3				0,25	0,5	0,5			

Таблица 2 – Характеристика сорбционных материалов

Сорбционный материал	Размер частиц, мм	Удельная площадь поверхности, м^2/г	Сорбционная емкость, мг/г			Скорость расхода СВ, мл/мин
			Pb	Cr	Cu	
ОДВ	0,5-3	112	14	6	9	20-25
Fe_3O_4	0,004-0,005	75	39	55	68	0,01-0,02
МКС	0,5-3	161	32	44	41	18-23
БАУ-А	0,5-1	740-800	20	28	12	0,1-0,3

Регенерация МКС проводилась при помощи 0,1 М водного раствора азотной кислоты. Выявлено, что на 8 цикл применения, эффективность сорбции по ионам свинца снижается на 20 %, по ионам меди и хрома - на 30%, что, скорее всего, связано с окислением магнетита и вымыванием его с поверхности волокна. После отработки ресурса СМ не подлежит дальнейшей регенерации и после обезвоживания из отработанного волокна предлагается изготавливать прессованные топливные гранулы. Преимуществом использования прессованного биотоплива является, во-первых, большая теплотворная способность по сравнению со щепой и с кусковыми отходами древесины, во-вторых, меньшая стоимость оборудования для котельных установок, по сравнению с установками по сжиганию древесных отходов.

Таким образом, проведенные исследования позволяют в дальнейшем рассматривать МКС в качестве эффективного и недорогого СМ для очистки сточных жидкостей от ИТМ.

Список литературы

1. Малкин В.П. Технологические аспекты очистки промстоков, содержащих ионы тяжелых металлов. – Иркутск.: Из-во Иркутск. Ун-та, 1991 г. – С. 63.
2. Жукова И.Л., Орехова С.Е., Хмылко Л.И. Сорбенты на основе целлюлозосодержащих материалов и их утилизация // Экология и промышленность России. – 2009. – № 7. – С. 30-33.
3. Меретуков М.А. Активные угли и цианистый процесс. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2007. – С. 288.
4. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н. Ресурсосберегающие технологии применения сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов. – Саратов: Изд. центр «Наука», 2010. – С. 148.
5. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Физико-химические свойства сорбентов для очистки водоэмульсионных сточных вод // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. №6. – С. 259-262.
6. Чистова Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом производстве древесноволокнистых плит: дис. д-ра техн. наук. – Красноярск, 2010. – С.414.
7. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний.
8. Приказ МПР России №511 от 15 июня 2001 г. «Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».

05.07.07

И.В. Храмцов, В.В. Пальчиковский, Е.В. Шаврина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, igorhrs92@mail.ru

ВЫБОР РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТВОДА ВОЗДУШНОЙ СТРУИ В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ

В статье приведены результаты моделирования течения затопленной струи в заглушенной камере с целью оценки влияния обратных течений на струю, а также выбора расположения системы отвода воздушной струи из камеры. Рассмотрены три варианта расположения конфузора. Для каждого варианта рассчитано распределение скоростей воздушных потоков по заглушенной камере.

Ключевые слова: *заглушенная камера, затопленная струя, численное моделирование.*

Исследование проблем, связанных с причинами возникновения уровней шума не удовлетворяющих экологическим нормам для воздушных судов не возможно без натурных экспериментов, к которым в первую очередь можно отнести стендовые и полетные испытания. Однако натурные испытания требуют больших затрат человеческих, временных и финансовых ресурсов и по этим причинам проводятся в малых количествах. Кроме того, акустические испытания на натурных объектах во многом ограничиваются погодными условиями. Таким образом, вышеперечисленные факторы обуславливают необходимость наличия как можно большего числа научных лабораторий, в которых можно было бы исследовать проблемы борьбы с авиационным шумом. Одним из важных шагов в данном направлении является создание в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) заглушенной камеры со струей.

Как известно шум струи авиационного двигателя вносит заметный вклад в общий шум самолета. Разработка эффективных мер по снижению данного негативного воздействия требует более тщательного изучения генерации шума турбулентными течениями. Для решения данной задачи в заглушенной камере необходимо наличие экспериментальных установок, создающих турбулентные течения. Это накладывает некоторые особенности на проектирование камеры. Рекомендации по выбору размеров и других параметров заглушенной камеры для таких случаев изложены в [1, 2]. Однако помимо этого следует удостовериться в низких скоростях потока воздуха вблизи звукопоглощающих клиньев, что обеспечит отсутствие выдувания материала клиньев и влияния обратных течений на струю. Кроме того, для системы подачи-отвода струи желательно обеспечить минимальную длину воздуховодов, но при этом отвод воздуха не должен влиять на струю (она не должна отклоняться в сторону). Таким образом, целью исследования являлось определение оптимального положения системы отвода струи для обеспечения перечисленных требований.

Для решения поставленной задачи была разработана методика численного моделирования течения затопленной струи в заглушенной камере. Расчеты проводились на основе SST модели турбулентности. Физическая модель содержала следующие допущения: процессы рассматривались в трехмерной стационарной постановке; поток считался однофазным, вязким, сжимаемым; в качестве рабочего вещества принят воздух; стенки камеры непроницаемые, нетеплопроводные и гладкие; распределение скорости на срезе сопла является равномерным.

Важным этапом в разработке методики являлся подбор сетки для дискретизации расчетной области с целью определения оптимального расчетного времени и точности получаемых результатов, а также верификация результатов численного моделирования, для чего использовался ряд полуэмпирических моделей [3-5]. В результате оценочных расчетов для дальнейшего моделирования была выбрана адаптивная сетка, размер элемента которой в осевом направлении равен 10 мм, а в радиальном направлении размер элемента с удалением от среза сопла постепенно увеличивается до 50 мм.

Верификация результатов численного моделирования по полуэмпирическим моделям, которые позволяют оценить скорость на оси затопленной струи, показала, что в целом они хорошо согласуются (рис. 1). Наименьшее расхождение получается с моделью [4], которая учитывает наличие тупика (т.е. влияние возвратных течений). Таким образом, проведенные исследования [6] показали, что разработанная методика численного моделирования течения затопленной струи может использоваться для принятия инженерных решений при проектировании системы подачи-отвода струи в заглушенную камеру.

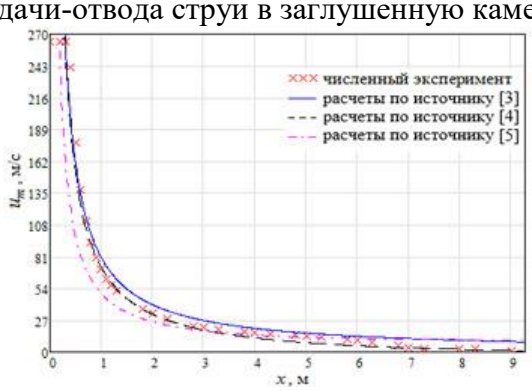


Рис. 1 – Верификация скорости на оси струи

При моделировании по разработанной методике течений в заглушенной камере рассматривались следующие положения конфузора: 1) конфузор по оси сопла на противоположной соплу стенке; 2) конфузор по оси сопла на потолке на максимально удаленном расстоянии; 3) конфузор по оси сопла в середине потолка. С точки зрения кратчайших путей трубопроводов наилучшим является вариант расположения конфузора над соплом, однако для акустики это наихудший вариант, поскольку источник звука в струе находится, как правило, на расстоянии примерно 7-8 калибров от среза сопла, конфузор же будет давать отражение звука (данный эффект не возможно полностью устранить), что в свою очередь будет влиять на источник. Поэтому данный вариант не рассматривался.

Геометрия расчетной области представляла собой внутренний объем заглушенной камеры, ограниченный линией вершин звукопоглощающих клиньев (рис. 2).

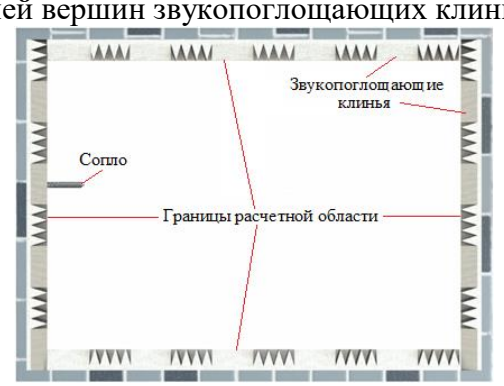


Рис. 2 – Геометрия расчетной области (вид сверху)

Размеры расчетной области составляли 10000 х 6700 х 4130 мм. Расстояние от оси сопла до нижней и верхней границы расчетной области – 1630 мм и 2500 мм соответственно. Диаметр сопла на срезе равен 50 мм. Конфузор представлял собой усеченную пирамиду с размерами в основании 1000 х 1000 мм, выходной частью 400 х 400 мм и высотой 800 мм. На срезе сопла была задана начальная скорость $u_{0.}$ = 264 м/с и температура газа 60 °С, что соответствует параметрам реальной струи. Скорость на выходе из расчетной области задавалась равной 0,0621 м/с, что обеспечивает равенство расхода на входе и выходе. В связи с большими размерами расчетной области полномасштабная модель составила порядка 40 миллионов элементов. Решение задачи в данной постановке требовало существенных вычислительных ресурсов, для чего использовался кластер «Центра высокопроизводительных вычислительных систем» ПНИПУ.

Результаты численного моделирования представлены на рисунке 3. Видно, что струя ни в одном из случаев не отклоняется под влиянием работы конфузора. Кроме того, скорость

потока вблизи границ расчетной области достаточно низкая (3-4 м/с), что не оказывает негативного влияния на клинья. Также моделирование не выявило существенного влияния возвратных течений на струю.

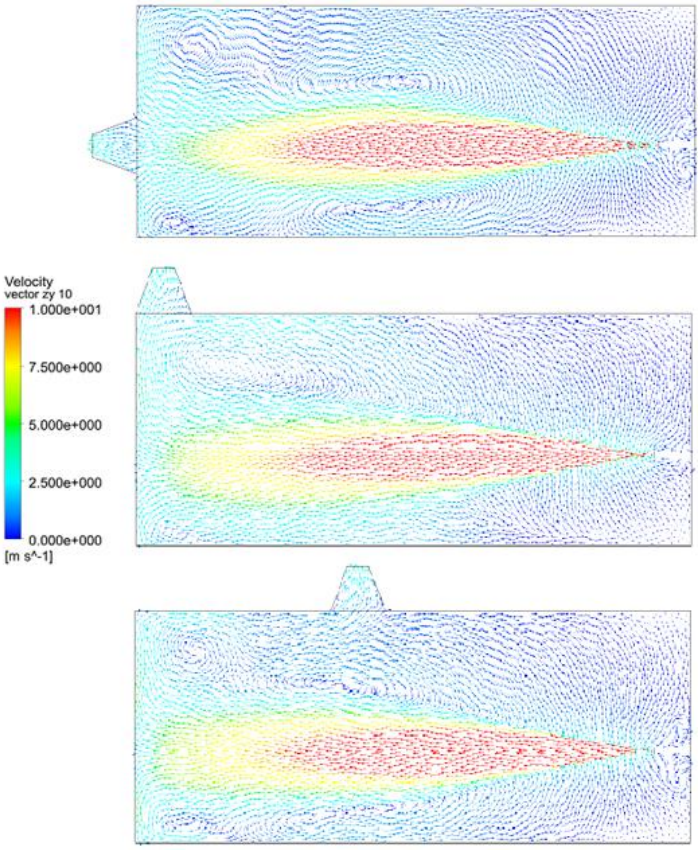


Рис. 3 – Результаты моделирования течения затопленной струи
(выводятся только скорости, не превышающие 10 м/с)

В результате проведенных исследований, установлено, что все рассмотренные варианты размещения конфузора являются работоспособными. Тем не менее, вариант 1 имеет наибольшую длину трубопроводов. Вариант 3 несколько неудобен с точки зрения существующих строительных конструкций заглушенной камеры (часто этот фактор ограничивает применение тех или иных проектировочных решений). Вариант 2 имеет наибольшее удаление конфузора от среза сопла, т.е. наименьшее влияние на струю, при этом обратный контур проходит над перекрытием камеры и длина воздуховодов меньше, чем у варианта 1. Таким образом, для расположения конфузора в заглушенной камере при перечисленных выше условиях работы наилучшим является вариант 2.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ по договору № 14.Z50.31.0032.

Список литературы

1. *Ahuja K.K.* Designing clean jet-noise facilities and making accurate jet-noise measurements // Int. J. Aeroacoustics, 2003, Vol. 2, No. 3&4, P. 371-412.
2. *Мунин А.Г.* Авиационная акустика. Часть 1. – М: Машиностроение, 1986. – 244 С.
3. *Шепелев И.А., Тарнопольский М.Д.* Распространение турбулентной струи в ограниченном пространстве (осесимметричное течение) // Тез. науч. семинара «Теплогазоснабжение и вентиляция». Киев: Будівельник, 1965. – С. 75-81.
4. *Посохин В.Н., Кареева Ю.Р.* Осесимметричная турбулентная струя в тупике // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2011, № 3(627), С. 64-70.
5. *Абрамович Г.Н.* Теория турбулентных струй. – М: ЭКОЛИТ, 2011. – 720с.
6. *Храмцов И.В., Пальчиковский В.В., Черенкова Е.С.* Разработка методики моделирования течения затопленной струи в заглушенной камере // Международный независимый институт Математики и Систем "МиС". Ежемесячный научный журнал, 2015, № 3(14), С. 44-47.

05.16.02

Л.И. Чайкин, А.А. Шопперт

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт материаловедения и металлургии, кафедра тяжелых цветных металлов,
Екатеринбург, leonidii91073@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ НА ПРОЦЕСС СГУЩЕНИЯ КРАСНЫХ ШЛАМОВ В ЦИКЛЕ БАЙЕРА

В работе представлены результаты исследования по влиянию пыли электрофильтров спекательного передела уральских алюминиевых заводов на скорость отстаивания красного шлама при промывке. Выявлено, что в присутствии пыли электрофильтров чистый слив можно получить на первой стадии промывки.

Ключевые слова: *процесс Байера, пыль электрофильтров, спекание, сгущение, красный шлам*.

При производстве глинозема из бокситов по способу Байера при выщелачивании образуется большое количество нерастворимого остатка (красный шлам), который в промышленности отделяется от алюминатного раствора сгущением. На отстаивание и уплотнение красного шлама в первую очередь влияют минералогический состав боксита, крупность частиц шлама, условия выщелачивания боксита и другие. Для ускорения сгущения и фильтрации пульп применяются специальные добавки, способствующие укрупнению агрегаций шлама [1].

До недавнего времени добавкой, оказывающей положительное влияние на отстаивание и сгущение красного шлама, являлась ржаная мука. В данный момент используются различные, но, тем не менее, дорогостоящие синтетические флокулирующие добавки.

Исследуя возможности решения проблем ветвей спекания Уральских заводов, мы обратили внимание на образование большого количества пыли в процессе получения спёка. Данная пыль является балластом, снижающим КПД печи и процесса в целом. При попадании шихты в печь спекания происходят различные физико-химические превращения. В связи с этим часть продуктов реакций из различных зон печи увлекается отходящими газами, и в виде пыли выносится во внепечное пространство, где улавливается системой газоочистки.

В силу технологических особенностей всю пыль вывести из процесса спекания нельзя, поэтому была поставлена задача по поиску возможности утилизации в цикле Байера только самой проблемной части – пыли электрофильтров (ПЭ), так как электрофильтрами улавливается только самые мелкие частицы. Кратность пылевозврата этих фильтров самая высокая из всех агрегатов системы пылеулавливания (батарейные циклоны, пылевая камера), и в связи с этим нагрузка на данный фильтр чрезмерна.

Исследование возвратной пыли электрофильтров двух и трех компонентных шихт печей спекания уральских заводов на качественный и количественный состав было проведено методами ИК–спектроскопии и рентгенодифрактометрии, а также рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. В таблице представлен количественный анализ ПЭ двухкомпонентой шихты, для сравнения также показан химический состав спёка.

Таблица – Химический состав пыли электрофильтров и спёка, полученных из двухкомпонентной шихты

Элементы	ППП	Al_2O_3	SiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3
ПЭ, %	24,8	25,5	2,49	28,3	0,44	0,1	2,5	12,2
Спёк, %	0,1	33,1	5,12	27,5	0,32	2,0	11,2	14,8

Как видно по данным таблицы, химический состав ПЭ и спека значительно отличаются друг от друга. В первую очередь это связано с незавершенностью процесса спекания пыли, которая достаточно легкая и очень быстро проходит горячие зоны печи. Различие в составе ПЭ и спека также подтверждается результатами ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа.

Данные ИК-спектроскопии показали, что валентные и деформационные колебания химических связей пыли электрофильтров соответствуют следующим минеральным соединениям:

$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot nCO_2 \cdot 11H_2O$ (гидрокабоалюминаткальция) 1430-1440 см$^{-1}$, $2Na_2O \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (натриевый гидросиликат) с максимумом 1100-1000см$^{-1}$, AlOOH (бёмит или диаспор) в зависимости от спекаемого боксита 1145 – 1152см$^{-1}$, $CaCO_3$ 880см$^{-1}$ (кальцит или арогонит), а так же $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ – 630см$^{-1}$, 525-580см$^{-1}$[2]. Рентгеноструктурный анализ подтвердил наличие в составе возвратной пыли алюминатов и ферритов натрия (2.56Å) [3].

Особый интерес в составе ПЭ вызывает минеральное соединение ГКАК (Гидрокарбоалюминат кальция), предположительно образующийся в результате взаимодействия кальцита с каустической составляющей содо-алюминатных растворов [1], которыми являются бокситовые шихты отделений спекания Уральских заводов. Предположение о возможном пути возникновения ГКАК подтверждается работами, которые были направлены на исследования в области производства глинозёма из Кольских нефелиновых руд [2, 4]. Условия получения и образования ГКАК в этих работах схожи с условиями, происходящими в зоне сушки и кальцинации вращающейся печи спекания бокситов и коррекционных бассейнах сырой шихты. Попадание минерала в систему газоочистки связано с пылеуносом и конструктивными особенностями передела. Рентгеноструктурный анализ показал, что в пыли обнаружено соединение $CaAl_2(CO)_32(OH)_43H_2O$ (2.09Å, 6.13Å), что также подтверждает данные ИК-спектроскопии. Сравнивая кривые ИК - спектрограмм пыли электрофильтров и спёка, на диаграмме спёка наблюдается ярко выраженный пик в области 1425-1440см$^{-1}$, что соответствует образованию твердых растворов алюмината кальция [5], подтверждая возможность обнаружения в этой области ГКАК.

Учитывая наличие в составе ПЭ ГКАК, возникло предположение о возможных флоккулирующих свойствах данного полупродукта отделения спекания. Была проведена серия экспериментов по применению в лабораторных условиях ПЭ при сгущении красного шлама отделения спекания ОАО «УАЗ СУАЛ» в качестве флоккулирующей добавки.

Красный шлам отделения спекания ОАО «УАЗ СУАЛ» был взят после стадии сгущения и репульпирован в соотношении ж:т = 2,5, разделен на два лабораторных стакана, в один из которых была добавлена произвольная навеска возвратной пыли, репульпированная в соотношении ж:т 2,5 в дистиллированной воде с учетом того, что ПЭ состоит на ≈50% (практические данные) из легкорастворимых соединений. Эксперименты проводились при t=95°C в лабораторном термостате, по аналогии с системой пятикратной промывки красных шламов. В результате проведенных экспериментов получены следующие результаты:

При добавлении в лабораторный стакан репульпированной навески ПЭ, чистый слив был получен при первой стадии промывки красного шлама.

В лабораторном стакане с красным шламом без добавки навески ПЭ слив был мутным, с явным наличием мелкодисперсных частиц. Скорость осаждения основного количества твёрдой фазы красного шлама при первой стадии промывки была одинаковой. Осаждение мелкодисперсных частиц красного шлама отделения спекания в присутствии частиц ПЭ, предположительно, связано с поверхностными свойствами частиц пыли [2], благодаря которым осуществляется физическая сорбция коллоидных частиц шлама. Пыль проходит до попадания в электрофильтр достаточную термообработку (от 220 до 700 ^{o}C), частички приобретают достаточную поверхностную энергию, обуславливающую агрегацию, которая только усиливается из-за наличия в составе легко растворимых соединений, а как следствие увеличивается удельная поверхность частиц. Наличие в составе ПЭ такого универсального

минерального соединения, как ГКАК (гидрокарбоалюминат кальция, ИК - спектр 1430- 1440 $см^{-1}$), возможности которого описаны в работах [2, 4], так же способствует агрегации частиц.

Однако данная закономерность работает только со шламами отделения спекания. Попытка применения вышеописанной технологии к операции сгущения красных шламов ветви гидрохимии в лабораторных условиях к положительным результатам не привела, это объясняется другим вещественным составом красных шламов ветви Байера.

Исходя из этого, предложена технологическая схема, введения ПЭ, минуя холодный конец печи спекания, напрямую в технологический цикл ветви Байера.

Учитывая универсальные возможности гидрокарбоалюмината кальция (ГКАК) и положительные результаты выщелачивания пыли дистиллированной водой, предлагается смешивать пыль с паро-конденсатом в мешалке с последующей отправкой полученной пульпы в отделение сгущения на первую стадию с целью реализации флоккулирующих свойств ГКАК, а также возврат в процесс полезных растворимых соединений и щелочей с промводой.

Выводы:

1. Пыль электрофильтров в качестве коагулирующей добавки при промывке красного шлама способствует более быстрому получению чистого слива.
2. Применение возвратной пыли электрофильтров в качестве флокулянта, на стадии промывки положительно только при взаимодействии со шламами ветви спекания.
3. За счет экономии на дорогостоящих флокулянтах, предполагается снижение себестоимости продукции, быстрое получение чистого слива снизит зарастание аппаратуры и вторичный оборот материалов в общем потоке.
4. За счет выведения ПЭ электрофильтров из системы пылевозврата, увеличивается КПД системы пылеулавливания, за счет исключения мелкодисперсных частиц, улучшится экологическая обстановка в регионе.

Список литературы

1. *Лайнер А.И.* Производство глинозема. – М.: Металлургиздат, 1961. – 619с.
2. *Климентёнок Г.Г.* Усовершенствование способа синтеза гидрокарбоалюмината кальция в условиях глинозёмного производства и его использование в качестве многофункционального коагулянта. Автореф. дис. канд. техн. каук. - С-Петербург, 2002. – 21с.
3. *НИ Л.П., Халяпина О.Б.* Физико-химические свойства сырья и продуктов глинозёмного производства. - Алма-Ата: Наука, КазССР, 1978. – 249с.
4. *Сизяков В.В., Корнеев В.И., Андреев В.В.* Повышение качества глинозема и попутной продукции при переработке нефелинов. – Москва: Металлургия, 1986. – 115с.
5. *Пономарёв В.Д.* Избранные труды, том 1. Алма-Ата: Наука, КазССР, 1973. – 547с.

05.13.06

Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова к.т.н.

Оренбургский государственный университет,
аэрокосмический институт, кафедра систем автоматизации производства,
Оренбург, shelevgen@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

В работе рассмотрены особенности токарной обработки нежёстких валов на станке с ЧПУ, предлагается последовательность этапов технологической подготовки производства при их изготовлении. Для автоматизации технологической подготовки обосновано применение на отдельных этапах разработанного программного комплекса и результатов научных исследований авторов, позволяющих уменьшить бочкообразное отклонение профиля продольного сечения заготовок от заданного размера (погрешность) вследствие изгибающего действия силы резания.

Ключевые слова: *алгоритм, технологическая подготовка производства (ТПП), программный комплекс, автоматизация, нежёсткий вал.*

Крупные машиностроительные предприятия России в настоящее время переживают масштабные реорганизации и модернизации производства, что обусловлено напряжённой обстановкой на международном рынке и, как следствие, потребностью в импорт замещении. Производство новой для предприятий продукции сопровождается резким возрастанием работ по технологической подготовке производства (ТПП). Для проектных работ, включающих ТПП, в ряде случаяв требуется больше половины общих затрат на создание изделия. С учётом высокой автоматизации современных цехов благодаря оборудованию с ЧПУ производительность в целом всё меньше становится зависимой от продуктивности рабочих мест. Таким образом, решение вопроса автоматизации ТПП становится актуальным для предприятий машиностроения, как при разработке нового единичного, так и серийного производства.

В данной работе рассматривается один из путей автоматизации ТПП нежестких валов, к которым относятся станинные ролики, прокатные валки, всевозможные балки и многие другие.

Производство деталей, обладающих низкой жёсткостью, обладает рядом особенностей. Погрешность формы заготовки при точении таких изделий часто превышает допуски, что вынуждает на этапе проектирования технологии изготовления вводить дополнительные корректирующие операции, а это приводит к повышению себестоимости изделия. Поэтому исследования в этой области с учётом возможностей, как устаревшего, так и современного станочного оборудования, необходимы для предприятий, выпускающих продукцию такого типа. Выбор оптимальных режимов токарной обработки заготовок в производственных условиях, с учётом разнооборазия парка станков, режущего инструмента и различных приспособлений, становится сложной технологической задачей, требующей специалистов высокой квалификации. Применение программных средств с использованием соответствующих баз данных позволит значительно сократить время на технологическое проектирование.

Под технологической подготовкой производства (ТПП), в соответствии с ГОСТ 14004-83, понимается совокупность мероприятий, обеспечивающих наличие на предприятии полных комплектов документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объёма выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями. Для автоматизации ТПП нежёстких валов разработан программный комплекс ProgRez, включающий программы CalkRez [1] и OptimRez [2], и проведены исследования в производственных услових машиностроительного концерна и в

лаборатории оборудования ЧПУ на базе Оренбургского государственного университета. Результаты исследования внедрены на различных этапах производства с целью повышения качества рассматриваемых изделий за счёт уменьшения деформаций, связанных с жесткостью деталей.

Предлагаемый алгоритм применения разработанного программного комплекса и результатов научных исследований авторов при автоматизации технологической подготовки производства изделий машиностроения на примере изготовления нежёстких валов представлен на рисунке 1.

Основываясь на данных, предоставляемых заказчиком на изделие (условия его эксплуатации, стоимость, основные характеристики), осуществляется конструкторское проектирование. Результатом данного этапа являются 2D и 3D модели изделия с учётом результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, учитывающих особенности изделия. Отметим, что допускается применение уже имеющихся на предприятии чертежей подобных деталей, с внесением определённых конструкторских поправок, адаптирующих готовые проектные решения к требованиям заказчика.

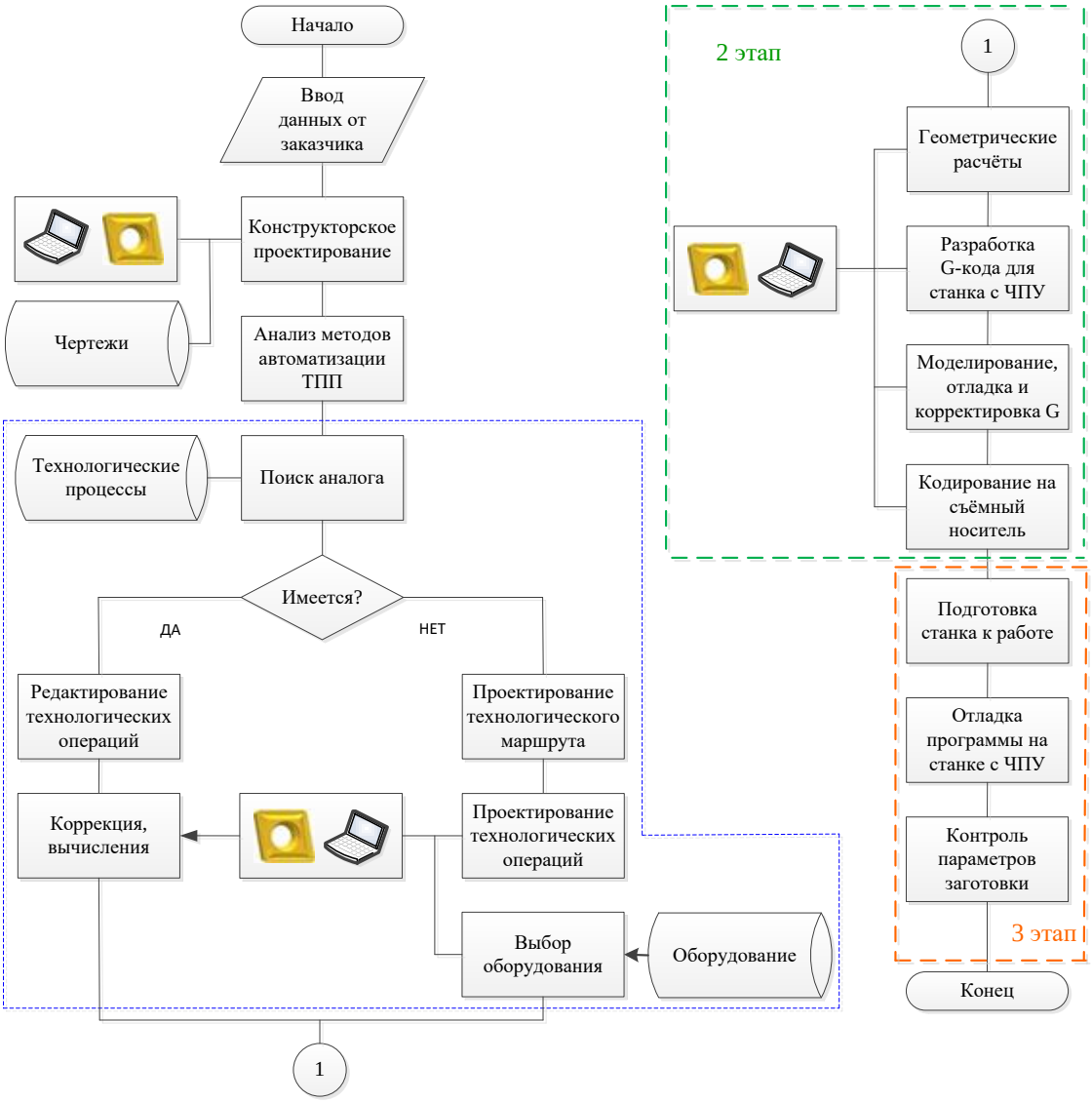


Рис. 1 – Этапы ТПП нежёстких валов

Проведённые авторами исследования образования погрешностей при токарной обработке нежёстких валов позволяют при проектировании определить и скорректировать допуски на обработку поверхностей, назначить оптимальную марку стали. ProgRez выступает в качестве средства, позволяющего оценивать значения вышеуказанных данных.

На следующем этапе учитываются достижения в области автоматизации методов ТПП, например, приведенные в работе [3]. Отметим, что реализация данного процесса является завершением начального этапа подготовки производства изделий машиностроения.

При проведении технологической подготовки для производства в котором используется оборудование с ЧПУ, реализуется три основных этапа, выделенных на рисунке 1 пунктирными линиями.

На первом этапе ТПП – разработке маршрутной технологии – проверяется наличие подобной разрабатываемой детали в базе данных предприятия. При наличии аналога выполняется ряд процессов, направленных на редактирование и корекцию технологических расчётов и операций, применимых непосредственно к рассматриваемому объекту. В случае отсутствия аналога выполняются операции технологического проектирования и выбора оборудования, режущего инструмента, измерительных приборов и т.д., имеющихся на производстве. Функционал разработанного программного средства и исследования, проведённые с его помощью, применимы в обоих случаях, так как позволяют за счёт повышения качества токарной обработки сократить дополнительные операции, например, шлифование заготовки. Применение CalkRez оптимизирует выбор как режущего инструмента из твёрдого сплава, так и назначение допустимых параметров резания с учётом жёсткости заготовки.

Автоматизация следующего этапа ТПП, включающего геометрические расчёты и разработку управляющей программы, осуществляется за счёт применения специализированного программного обеспечения, в том числе CAM, CAD-системы [4], разработанный програмный комплекс ProgRez. Выполняются программная реализация сложных поверхностей, написание и отладка G – кода системы ЧПУ, его корректировка с учётом особенностей изделия, а так же моделирование траектории движения инструмента. Для реализации некоторых операций можно использовать специализированные стенды, предназначенные для обучения персонала работе со станками.

Третий и заключительный этап ТПП содержит три процесса: подготовку станка к работе (проверку работоспособности основных узлов и т.д.); отладку программы непосредственно на станке с ЧПУ (выпуск контрольного образца); контроль параметров заготовки (определение соответствия параметров и характеристик, заданных технологией).

Таким образом, на основе результатов научных исследований авторов и разработанного программного комплекса ProgRez предложен алгоритм технологической подготовки производства нежёстких валов.

Список литературы

1. Свидетельство № 2014660861 Российская Федерация. Программа для расчёта погрешности обработки нежёстких заготовок под действием силы резания CalkRez // Е. С. Шелихов, А. М. Черноусова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственныйуниверситет».–№2014618445. заявл. 21.08.2014, зарегистр.17.10.2014. – 1 с.

2. Свидетельство № 2015617303 Российская Федерация. Программа минимизации погрешности токарной обработки нежёстких валов OptimRez // Е. С. Шелихов, А. М. Черноусова, А. И. Сердюк; заявители и правообладатели. – № 2015614252. заявл. 12.05.2015, зарегистр. 6.07.2015. – 1 с.

3. *Рыжов, Э.В.* Оптимизация технологических процессов механической обработки:монография / Э.В. Рыжков, В. И. Аверченков.– Киев: Наук.думка, 1989. – 192 с.– ISBN 5-12-00920-4

4. *Епифанова, О.В.* Автоматизация технологической подготовки производства деталей, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ / О.В. Епифанова, Д.И. Троицкий // Известия Тульского государственного университета. – 2011.– № 3 – С. 53 – 61.

05.20.01

С.А. Шишлов к.т.н., А.Н. Шишлов к.т.н.

ФГБОУ ВПО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», инженерно-технологический институт, кафедра проектирования и механизации технологических процессов, sergey_a_shishlov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЯЧЕЕК ВЫСЕВАЮЩЕГО ДИСКА НА ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН СОИ

В статье рассматривается травмирование семян сои высевающим аппаратом, содержащим вертикальный диск с ячейками, расположенными под углом к плоскости его вращения. Показано влияние угла наклона ячеек при различных окружных скоростях высевающего диска на травмирование семян сои. Приводятся некоторые результаты исследований.

Ключевые слова: *соя, ячейка, угол наклона, высевающий диск, травмирование.*

Анализ существующих способов посева сои показывает, что наилучшие результаты показывают такие, при которых каждому растению создаются оптимальные условия для его роста и развития [1, 2]. В связи с этим, основой перспективной технологии посева сои должен быть единичный отбор семян с равномерным их размещением по площади питания.

Разработанные нами конструкции высевающих аппаратов позволяют производить такой посев. Одной из предложенных разработок является пунктирно - полосный способ посева, осуществляемый высевающим аппаратом с диском, имеющим наклоненные под углом к плоскости его вращения ячейки [3]. Изобретение было признано специалистами Роспатента особо важным и перспективным [4].

Травмирование семян при посеве снижает их полевую всхожесть и, как следствие, урожайность [5]. Учитывая, что исследований травмирования семян сои высевающим аппаратом, содержащим диск с наклонными ячейками (рисунок 1), ранее не проводилось, нами проведены лабораторные и полевые исследования влияния угла наклона ячейки на этот показатель. Оценка производилась по величине коэффициента травмирования семян, представляющей собой отношение количества травмированных семян, выраженное в процентах, к общему количеству высеянных семян.

Результаты проведенных ранее исследований травмирования семян дисковыми высевающими аппаратами показывают, что коэффициент травмирования зависит от времени заполнения ячеек семенами. Фактором, влияющим на сокращение времени заполнения ячеек семенами, является равенство линейных скоростей: окружной скорости поверхности высевающего диска и скорости скольжения семян по диску [6]. Чем меньше разница между этими скоростями, тем больше вероятность укладки семени в ячейку и исключения его травмирования.

Ввиду того, что основными силами, вызывающими заполнение ячейки, являются собственный вес семени и давление вышележащих слоев семян, то заполнение ячейки будет наиболее эффективным, когда равнодействующая этих сил будет параллельна оси ячейки. Поэтому изменение угла наклона ячеек определенным образом повлияет на заполнение ячеек и травмирование семян.

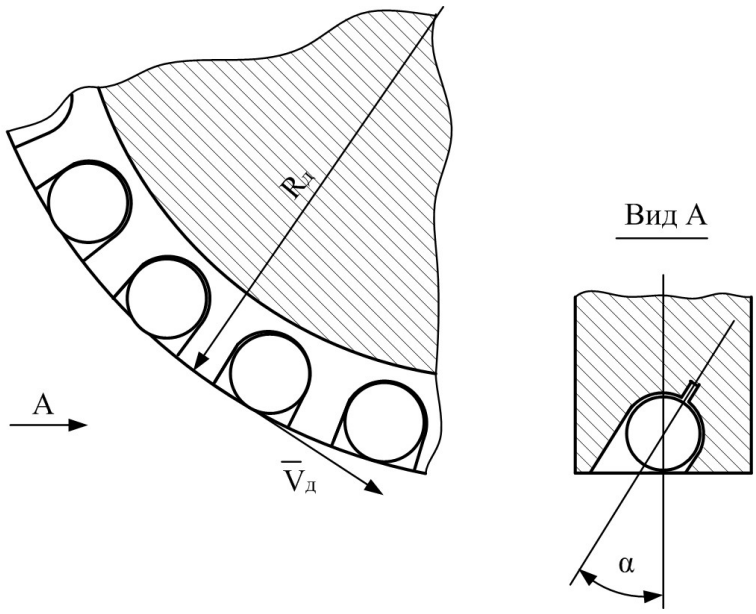


Рис. 1- Схема высевающего диска: $\overline{V}_Д$ – окружная скорость высевающего диска; $R_Д$ – радиус высевающего диска; α – угол наклона ячейки к плоскости вращения высевающего диска

Проведенные опыты включали исследование влияния угла наклона ячеек α на травмирование семян сои при различных окружных скоростях высевающего диска.

Как показывают результаты исследований (рисунок 2), коэффициент травмирования изменяется от 0.15% до 1.5% при расположении ячеек под углом в 10^0 и от 0.37% до 3.6% при угле наклона ячеек, равном 50^0. С увеличением времени контакта ячеек с семенами, их заполнение происходит более эффективно, вследствие чего снижается количество травмированных семян.

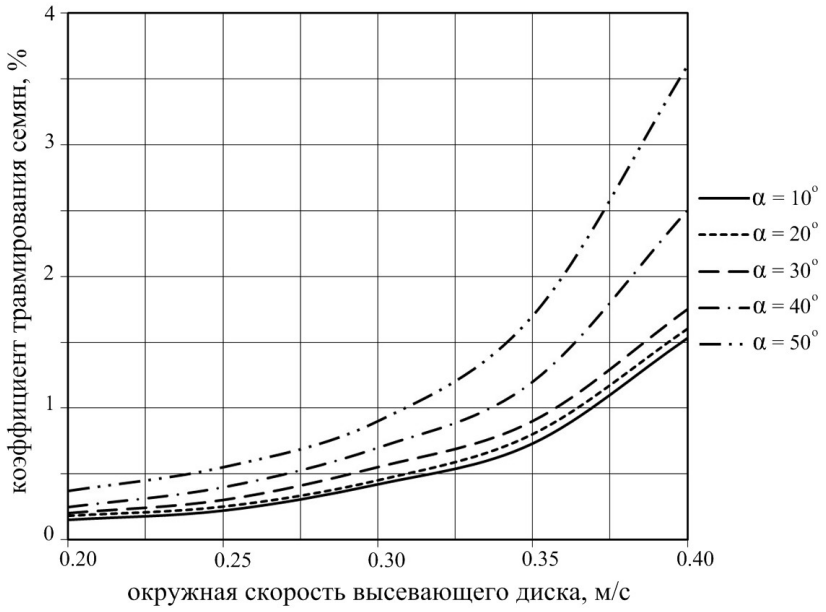


Рис. 2- Изменение коэффициента травмирования семян сои в зависимости от окружной скорости высевающего диска при различных углах наклона ячеек α

Во всех вариантах опыта при одинаковой окружной скорости высевающего диска, с увеличением угла наклона ячеек, коэффициент травмирования возрастает, причем в интервале от $\alpha = 0^0$ до $\alpha = 30^0$ его рост незначителен, интенсивный рост начинается после 30^0. Так, при окружной скорости $V_Д = 0.30$ м/с, при $\alpha = 30^0$ коэффициент травмирования имеет значение 0.6%, при $\alpha = 50^0$ его значение возрастает до 0.9%. При окружной скорости высевающего диска $V_Д = 0.35$ м/с, которая соответствует скорости движения посевного

агрегата 2.50 м/с, и углах наклона ячеек 30^0, 40^0 и 50^0 коэффициент травмирования равен 0.9%, 1.2% и 1.7% соответственно.

Явление резкого повышения коэффициента травмирования при наклоне ячейки на угол больший 30^0 объясняется ухудшением условий заполнения ячеек, особенно при увеличении окружной скорости высевающего диска, поэтому семена, не успевшие полностью уложиться в ячейку, подвергаются травмированию при встрече с корпусом высевающего аппарата и защемлению между высевающим диском и роликом - отражателем.

Увеличение угла наклона ячеек на величину, превышающую 30^0, приводит к интенсивному росту боковой составляющей от собственного веса семени и давления вышележащих слоев семян, поэтому для попадания семени в ячейку требуется больший промежуток времени.

Проведенные исследования позволяют сделать следующий вывод: чтобы коэффициент травмирования семян сои не превышал 1%, необходимо ограничить угол наклона ячеек высевающего диска к плоскости его вращения до величины $\alpha=30^0$, при этом окружная скорость высевающего диска должна находиться в пределах 0.36 м/с, что соответствует скорости движения посевного агрегата до 2.78 м/с.

Список литературы

1. Технологии возделывания сои / А.К. Чайка [и др.]. - М., 2012. - 52 с.
2. *Калинич, Г.Ф.* Влияние способа посева на урожай и качество семян сои / Г.Ф. Калинич // Современное состояние агротехники и механизации возделывания сои на Дальнем Востоке. Вып. 46. - Уссурийск, 1976. - С. 9-17.
3. Пат. 2127032 Российская Федерация, МПК А01 С7/00, А01С7/04. Способ высева семян и устройство для его осуществления / В.Д. Липин, С.А. Шишлов; заявитель и патентообладатель Приморская гос. с.-х. академия. - №20127032; заявл. 16.01.1997; опубл. 10.03.1999; Бюл. №7. - 5 с.
4. Перспективные изобретения: Сборник. Вып.1. - М.: ИНИЦ Роспатента, 1999. - 67 с.
5. Травмирование семян и его предупреждение / И.Г. Строна [и др.].-М.: Колос, 1972. - 160 с.
6. *Бережной, И.А.* Исследование движения единичных семян по диску высевающего аппарата / И.А. Бережной, Л.С. Коренкова // Повышение эффективности использования и совершенствование сельскохозяйственной техники на Дальнем Востоке. Вып. 29. - Уссурийск, 1974. - С. 122 - 128.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., А.В. Гущин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ

Построена математическая модель тепловых процессов кабельных линий проложенных на воздухе в плоскости и в пучке, методом конечных элементов решена задача тепломассопереноса. Получена картина распределения температур при прокладке в плоскости и в пучке. Рассмотрено изменение максимальной температуры изоляции в зависимости от пропускаемого тока.

Ключевые слова: *математическая модель, тепловые процессы, прокладка в плоскости, прокладка в пучке, кабельная линия.*

Пропускная способность линии, а также надежность электроснабжения потребителей во многом зависит от теплового режима эксплуатации кабелей. Существенное влияние на нагрев кабельной линии оказывает способ прокладки. Существует два основных способа прокладки кабелей: в плоскости и в пучке. Данная работа посвящена математическому моделированию процессов тепломассопереноса кабельных линий проложенных различными способами.

На рисунке 1 представлено схематичное изображение поперечного сечения кабеля ВВГнг(А) 3х16-0,66.

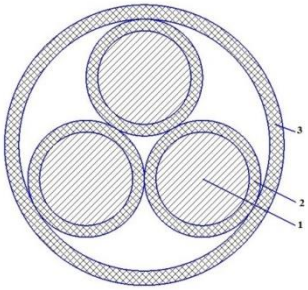
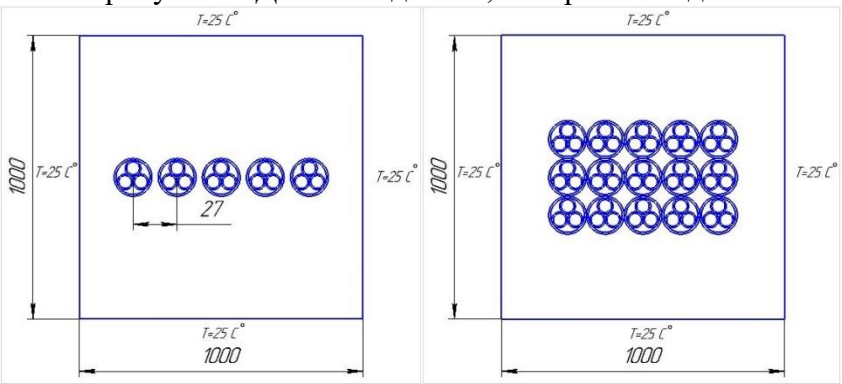


Рис. 1. Поперечное сечение кабеля марки ВВГнг(А) 3х16-0,66:
1 – токопроводящая жила; 2 – изоляция; 3 – оболочка

Геометрические размеры расчетной области и расположение кабелей для каждого способа прокладки показаны на рисунке 2. Для наглядности, изображения даны не в масштабе.



а) *б)*

Рис. 2. Расчетная область для рассматриваемых способов прокладки кабелей ВВГнг(А) 3х16-0,66: а) прокладка в плоскости; б) прокладка в пучке

При построении математической модели охлаждения кабеля в условиях естественной конвекции и лучистого теплообмена, базирующейся на законах сохранения массы, количества движения и энергии [1,2], были сделаны следующие допущения: задача стационарная, двумерная; течение ламинарное; конструкция изоляции и оболочки кабеля заменена однородным монолитом из ПВХ-пластиката; в рассматриваемом диапазоне температур теплофизические свойства материалов постоянны.

С учетом сделанных допущений система дифференциальных уравнений в двумерной стационарной постановке, описывающих процесс тепломассопереноса в расчетной области, примет вид [1-3]:

Уравнения движения:

$$U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\eta\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\eta\frac{\partial U_x}{\partial y}, \quad (1)$$

$$U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\eta\frac{\partial U_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\eta\frac{\partial U_y}{\partial y} + g\beta\left(t - t_0\right)\cdot \quad (2)$$

Уравнение несжимаемости:

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} = 0\cdot \quad (3)$$

Уравнение энергии для воздуха:

$$\rho c_p\left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\lambda\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\cdot \quad (4)$$

Уравнение теплопроводности кабельных линий:

$$\frac{\partial}{\partial x}\lambda\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\lambda\frac{\partial t}{\partial y} + q_v = 0\cdot \quad (5)$$

где x, y, – декартовые координаты, м; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха в канале, м/с; P – отклонение давления воздуха от гидростатического, Па; t – температура, °С; c_p – удельная теплоемкость воздуха ($c_p = 1{,}005$ кДж/(кг·°С)); g – ускорение свободного падения ($g = 9{,}8$ м/с^2); ρ – плотность воздуха ($\rho = 1{,}2696 - 0{,}0034t$) кг/м^3; λ –коэффициент теплопроводности ($\lambda = 0{,}0242$ Вт/(м·ºС)); $\eta = \frac{\mu}{\rho}$ – кинематическая вязкость, м^2/с; μ – коэффициент динамической вязкости ($\mu = 1{,}7894 \cdot 10^{-5}$ Па·с).

Для компонент скорости на границах канала и на поверхности кабеля задается условие непроницаемости и прилипания. На границах раздела сред задается условие идеального контакта при равенстве тепловых потоков. Температура стенок канала равняется 25°С (рис. 2). Мощность внутреннего источника тепла в токопроводящих жилах определяется по закону Джоуля-Ленца [3,4].

Конвективный теплообмен между кабелями и стенками дополняется теплообменом излучением между сегментами поверхностями, являющимися границами области, занятой в данном пространстве воздухом. Воздух принимается как оптически прозрачная среда, не поглощающая тепловое излучение, а граничные поверхности, участвующие в теплообмене, как серые поверхности.

Поставленная задача (1) – (6) решалась численно методом конечных элементов в среде инженерных расчетов ANSYS Fluent. Для построения геометрии модели использовался препроцессор среды ANSYS – ICEM CFD.

В результате решения поставленной задачи были получены поля распределения температур для кабелей, проложенных в плоскости и в пучке. На рисунке 3 показано температурное поле кабелей ВВГнг(А) 3х16-0,66, проложенных в плоскости, а на рисунке 4 – в пучке при токе равном 54 А. На рисунке 5 приведена зависимость максимальной

температуры от тока для обоих способов прокладки. Из рисунков видно, что максимальная температура кабелей при прокладке в пучке существенно выше, чем при прокладке кабелей в плоскости. При токе в 54 А разница превышает 50°С. Если зафиксировать максимальное значение температуры, например 40°С, то при прокладке в пучке ток равен 23 А, а при прокладке в плоскости – 52 А.

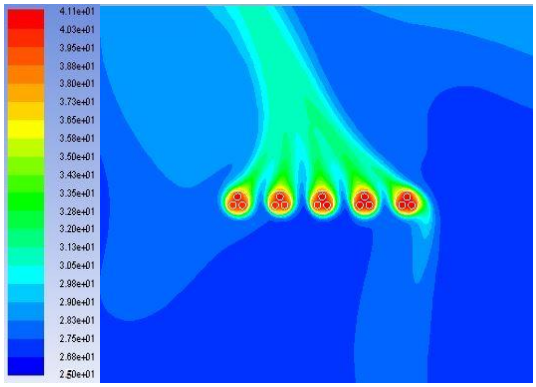


Рис 3. Температурное поле кабелей, проложенных в плоскости

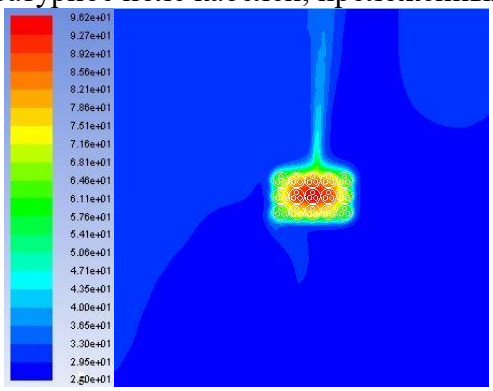


Рис 4. Температурное поле кабелей, проложенных в пучке

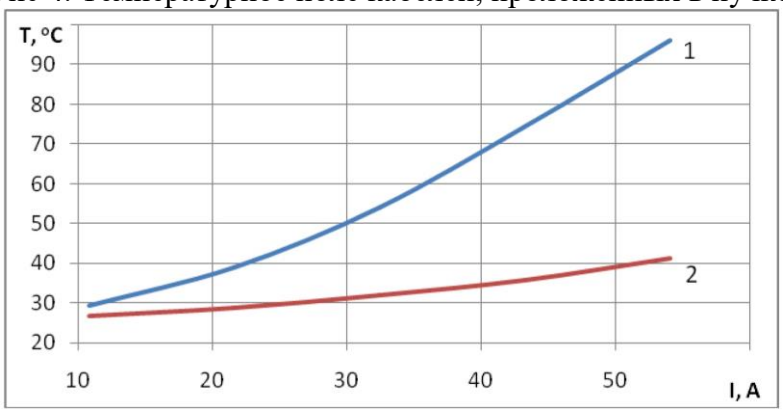


Рис. 5 Зависимость максимальной температуры кабелей от тока
1 –прокладка в пучке; 2 –прокладка в плоскости

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что пропускная способность кабельных линий во много зависит от способов их прокладки. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании кабельных линий, а также при определении причины выхода кабельной линии из строя.

Список литературы

1. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергия. 1975. 488 с.
2. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.
3. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю. , Савченко В.Г.* Определение эксплуатационных характеристик кабелей, проложенных в кабельном канале // Электротехника. 2011. № 11. С. 16–19.
4. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Савченко В.Г.* Определение токовых нагрузок кабелей // Электротехника». 2010. № 6. С. 61–64.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., К.Ф. Корзникова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПВХ-ПЛАСТИКАТА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 КВ

Решена задача по определению токовых нагрузок силовых кабелей с изоляцией из ПВХ пластиката на напряжение 6 кВ. Построена двухмерная математическая модель процессов тепломассообмена в воздухе при стационарном режиме работы исследуемых кабелей. Математическая модель построена на законах сохранения массы, количества движения и энергии, учитывающая тепловое излучение в условиях естественной конвекции и реализована в программном комплексе ANSYS Fluent.

Ключевые слова: *токовая нагрузка, эксплуатационные характеристики силового кабеля.*

Токовые нагрузки силовых кабелей в основном определяют с помощью стандартных методик ГОСТ Р МЭК 60287. Наряду с ними рабочие токи кабелей можно вычислять с помощью численных методов и готовых программных комплексов [1]. Одним из наиболее мощных и универсальных программных продуктов этого класса является ANSYS. Токовая нагрузка кабелей определяется по допустимой рабочей температуре изоляции кабелей, которая для поливинилхлоридного пластиката составляет 70°С.

В работе рассмотрена задача определения токовых нагрузок силового кабеля ВВГ с изоляцией из ПВХ-пластиката, проложенного в канале, заполненном воздухом, с сечениями жил 16 мм^2 и 240 мм^2 на номинальное переменное напряжение 6 кВ частотой 50 Гц [2]. На рисунке 1 приведены конструкции исследуемого кабеля марки ВВГ с медной токопроводящей жилой и изоляцией из ПВХ пластиката [2].

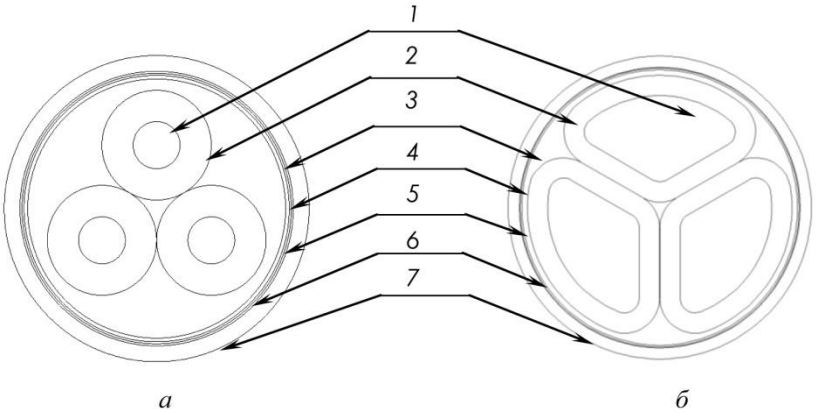


Рис.1. Кабель марки ВВГ на напряжение 6 кВ: *а* – трехжильный с круглыми жилами; *б* – трехжильный с секторными жилами. 1 – медная токопроводящая жила; 2 – изоляция из поливинилхлоридного пластиката; 3 – поясная изоляция из ПВХ-пластиката; 4 – электропроводящий экран из электропроводящего материала; 5 – металлический экран из двух медных лент; 6 – разделительный слой: две ленты из ПВХ-пластиката; 7 – оболочка из ПВХ-пластиката.

Геометрические размеры расчетной области и расположение кабеля показаны на рисунке 2.

При построении математической модели решаемой задачи были сделаны следующие допущения: задача двухмерная стационарная; движение воздушного потока ламинарное; процесс неизотермический; изменение температуры вдоль кабельной линии не происходит.

Математическая модель движения и теплообмена воздуха основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии [3].

При решении задачи учитывается естественная конвекция воздуха в расчетной области, лучистый теплообмен.

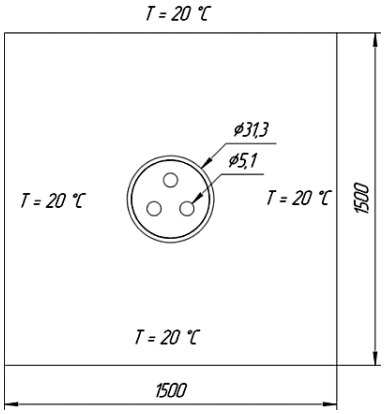


Рис. 2. Геометрические размеры и граничные условия расчетной области

С учетом сделанных допущений определяющая система дифференциальных уравнений примет следующий вид []:

– уравнения движения:

$$U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\eta\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\eta\frac{\partial U_x}{\partial y}, \quad (1)$$

$$U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\eta\frac{\partial U_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\eta\frac{\partial U_y}{\partial y} + g\beta\left(t - t_0\right); \quad (2)$$

– уравнение неразрывности для несжимаемой среды:

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} = 0; \quad (3)$$

– уравнение энергии для воздуха:

$$\rho c_p \left(U_x \frac{\partial t}{\partial x} + U_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x}\lambda\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\lambda\frac{\partial t}{\partial y} \quad (4)$$

– уравнение теплопроводности для кабеля:

$$\frac{\partial}{\partial x}\lambda\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\lambda\frac{\partial t}{\partial y} + q_v = 0 \quad (5)$$

где x, y, – декартовые координаты; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха в канале; P – отклонение давления воздуха от гидростатического; t – температура, °С; c_p – удельная теплоемкость воздуха ($c_p = 1{,}005$ кДж/(кг·°С)); g – ускорение свободного падения ($g = 9{,}8$ м/с^2); ρ – плотность воздуха ($\rho = 1{,}2696 - 0{,}0034t$) кг/м^3; λ –коэффициент теплопроводности ($\lambda = 0{,}0242$ Вт/(м·°С)); $\eta = \frac{\mu}{\rho}$ – кинематическая вязкость; μ – коэффициент динамической вязкости ($\mu = 1{,}7894 \cdot 10^{-5}$ Па·с).

На границах канала и на поверхности кабеля задается условие непроницаемости и прилипания:

$$U_x\big|_G = 0;\ U_y\big|_G = 0.$$

Здесь: G – граница. Температура границ расчетной области равна 20°С.

На границах раздела сред задается условие идеального контакта при равенства тепловых потоков.

Мощность внутреннего источника тепла в токопроводящей жиле определяется согласно закону Джоуля-Ленца по формуле [2]

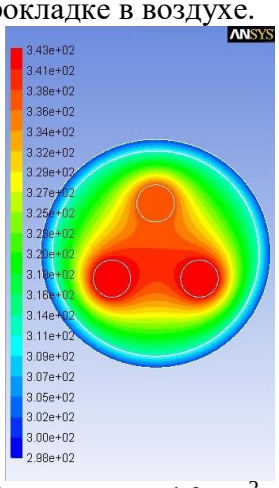
$$q_{VÆ} = I_Æ^2 R_\approx / F_Æ,$$

где $I_{Æ}$ – ток, А; $R_{\approx}$ – электрическое сопротивление токопроводящей жилы переменному току, Ом/м; $F_{Æ}$ – площадь поперечного сечения токопроводящей жилы, м^2.

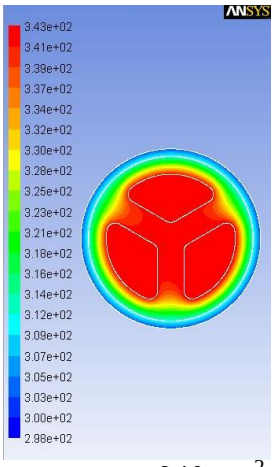
Определение токовых нагрузок кабельных линий по температурным полям, проводилось с привлечением программного комплекса ANSYS Fluent. С этой целью была разработана итерационная процедура, в которой на каждом итерационном шаге решалась определяющая система дифференциальных уравнений, и определялось температурное поле в расчетной области вокруг кабеля. Далее подбиралось такое значение рабочего тока, при котором максимальная температура токопроводящей жилы с заданной точностью равнялась допустимому значению 70°С.

Данная задача также была решена с помощью использования методик ГОСТ Р МЭК 60287.

На рисунке 3 представлены фрагменты температурных полей силового кабеля ВВГ разных сечений при прокладке в воздухе.



Сечение жил 16 мм^2



Сечение жил 240 мм^2

Рис. 3. Температурные поля в кабеле

В таблице приведены значения рабочих токов, рассчитанных по ГОСТ Р МЭК 60287 и с помощью пакета ANSYS.

Таблица – Рабочие токи силового кабеля ВВГ

Сечение жил, мм^2	16	240
Рабочий ток, А (МЭК)	73	408
Рабочий ток, А (ANSYS)	88	489
Расхождение, в %	17	16,5

Из таблицы видно, что рабочие токи, рассчитанные с помощью ANSYS, имеют несколько большие значения, чем токи, рассчитанные по ГОСТ Р МЭК 60287. Можно отметить достаточно хорошее совпадение результатов между представленными методиками расчета токовых нагрузок. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности работы методики, построенной с помощью программного комплекса ANSYS. Методики, построенные на базе моделирования тепловых процессов, являются более универсальными. Преимущества этих методик будут проявлять себя при решении задач с более сложными условиями теплообмена кабелей и окружающей среды.

Список литературы

1. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Савченко В.Г.* Определение токовых нагрузок кабелей // Электротехника». 2010. № 6. С. 61–64.
2. Основы кабельной техники. Под ред. И.Б. Пешкова. М.: Издательский центр «Академия». 2006. 432 с.
3. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергия. 1975. 488 с.

05.13.18

А.Г. Щербинин д.т.н., С.В. Стариков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Электротехнический факультет, кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
Пермь, ktei@pstu.ru

РАСЧЁТ РАБОЧИХ ТОКОВ СИЛОВЫХ ШАХТНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПВХ-ПЛАСТИКАТА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 КВ

В работе представлены результаты исследования влияния способов прокладки силовых шахтных кабелей с изоляцией из ПВХ-пластиката на напряжение 6 кВ по стандартным методикам, а также с помощью программного комплекса ANSYS. Были построены температурные поля для рассматриваемых способов прокладки. Проведен сравнительный анализ результатов.

Ключевые слова: *рабочие токи кабеля, способы прокладки, математическое моделирование.*

Допустимые токовые нагрузки силовых кабелей в значительной степени зависят от их способов прокладки. Однако существующие стандартные методики по определению рабочих токов кабелей ГОСТ Р МЭК 60287 не учитывают всего многообразия способов прокладки кабельных линий, поэтому подход, основанный на математическом моделировании процессов теплообмена кабелей с окружающей средой, является более универсальным. Проведем расчет рабочих токов силовых шахтных кабелей марки КШВЭБбШв 3х120+1х10+1х16 на напряжение 6 кВ (рис. 1), проложенных в горизонтально расположенной шахте (рис. 2) для различных способов прокладки, представленных в ГОСТ Р МЭК 60287.

На рисунке 2 приведена расчетная область и расположение кабеля.

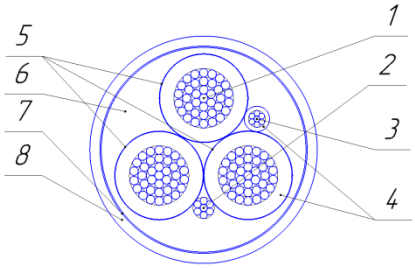


Рис. 1. – Конструкция кабеля КШВЭБбШв 3х120+1х10+1х16-6.
1 – многопроволочная медная токопроводящая жила (ТПЖ); 2 – жила заземления;
3 – вспомогательная жила; 4 – изоляция из ПВХ-пластиката; 5 – экраны из медной ленты;
6 – внутренняя оболочка из ПВХ-пластикат; 7 – броня из 2-х стальных оцинкованных лент;
8 – наружная оболочка из ПВХ-пластиката

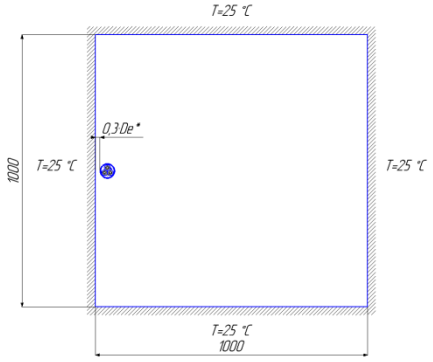


Рис. 2. Схема расчетной области

При построении математической модели были сделаны следующие допущения: задача стационарная, двухмерная; течение воздуха ламинарное; воздушная среда несжимаема; изменение температуры вдоль оси кабеля не происходит; сложная конструкция изоляции, оболочек и других конструктивных элементов кабеля, покрывающих токопроводящую жилу,

была представлена как монолит со свойствами ПВХ-пластиката; теплофизические свойства конструкционных материалов и воздуха постоянны, учтем только подъемную силу, возникающую в результате зависимости плотности от температуры [1].

С учётом сделанных допущений система дифференциальных уравнений, описывающая процессы тепло- и массообмена примет вид [1-5]:

уравнение теплопроводности для кабеля

$$\lambda_i\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)+q_v=0; \quad (1)$$

уравнения движения воздушной среды

$$U_x\frac{\partial U_x}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_x}{\partial y}=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial P}{\partial x}+\eta\left(\frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2}\right), \quad (2)$$

$$U_x\frac{\partial U_y}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_y}{\partial y}=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial P}{\partial y}+\eta\left(\frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_y}{\partial y^2}\right)+g\beta\left(t-t_0\right); \quad (3)$$

уравнение несжимаемости

$$\frac{\partial U_x}{\partial x}+\frac{\partial U_y}{\partial y}=0; \quad (4)$$

уравнение энергии воздушной среды

$$\rho_0 c\left(U_x\frac{\partial t}{\partial x}+U_y\frac{\partial t}{\partial y}\right)=\lambda\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right), \quad (5)$$

где x, y, – декартовые координаты, м; t – температура, °С; q_v– мощность внутреннего источника тепла, Вт/м^3; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С); λ_i – коэффициент теплопроводности элементов конструкции кабеля, Вт/(м·°С); c – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С); ρ_0 – плотность воздуха при температуре t_0, кг/м^3; U_x, U_y – компоненты вектора скорости воздуха, м/с; P – отклонения давления воздуха от гидростатического; β – температурный коэффициент объемного расширения, 1/°С.

На границах раздела сред задается условие идеального контакта при равенстве тепловых потоков

$$q_{i-1}\big|_n=q_i\big|_n. \quad (6)$$

Здесь: n – нормаль к границе раздела.

Температура границ расчётной области равняется 25°С (рис. 2). На границах канала и на поверхности кабелей G задается условие непроницаемости и прилипания:

$$U_x\big|_G=0;\ U_y\big|_G=0. \quad (7)$$

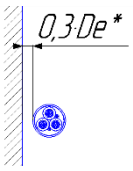
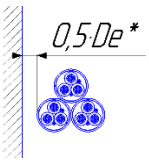
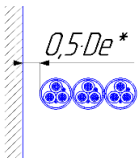
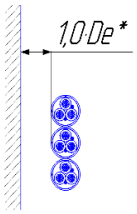
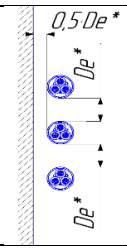
Источниками тепла в рассматриваемом кабеле являются токопроводящие жилы. Мощность внутреннего источника тепла в токопроводящей жиле определяется по формуле

$$q_V=I_Æ^2 R_Æ / F_Æ, \quad (8)$$

где $I_Æ$ – ток, А; $R_Æ$ – электрическое сопротивление ТПЖ, Ом/м; $F_Æ$ – площадь поперечного сечения токопроводящей жилы, м^2.

Поставленная задача по определению рабочих токов решалась численно в среде инженерных расчетов ANSYS Fluent. Исследуемые способы прокладки кабелей приведены в таблице 1, в которой величина D_{e*} – это диаметр кабеля.

Таблица 1. Способы прокладки кабелей

№	1	2	3	4	5
Способы прокладки					

На рисунке 3 приведены температурные поля, полученные с помощью математического моделирования в среде ANSYS Fluent для рассматриваемых способов прокладки кабелей, токовая нагрузка которых была определена по допустимой рабочей температуре поливинилхлоридной изоляции кабелей, составляющей 70°С.

В таблице 2 представлены результаты расчетов рабочих токов, полученные в среде ANSYS Fluent и по ГОСТ Р МЭК 60287. Из таблицы видно, что расхождения между токами, вычисленными с помощью математического моделирования и ГОСТ Р МЭК, не превышают 6%, что подтверждает адекватность предложенной математической модели.

Сравнивая способы прокладки 2 – 5 с одиночно проложенным кабелем (способ 1), можно отметить, что способ 2 имеет наихудшие условия теплообмена с окружающей средой (снижение рабочего тока составляет 35%), а три кабеля, проложенные в вертикальной плоскости с зазором (способ 5), обладают наилучшим теплоотводом (рабочий ток снижается лишь на 11% по отношению к способу 1).

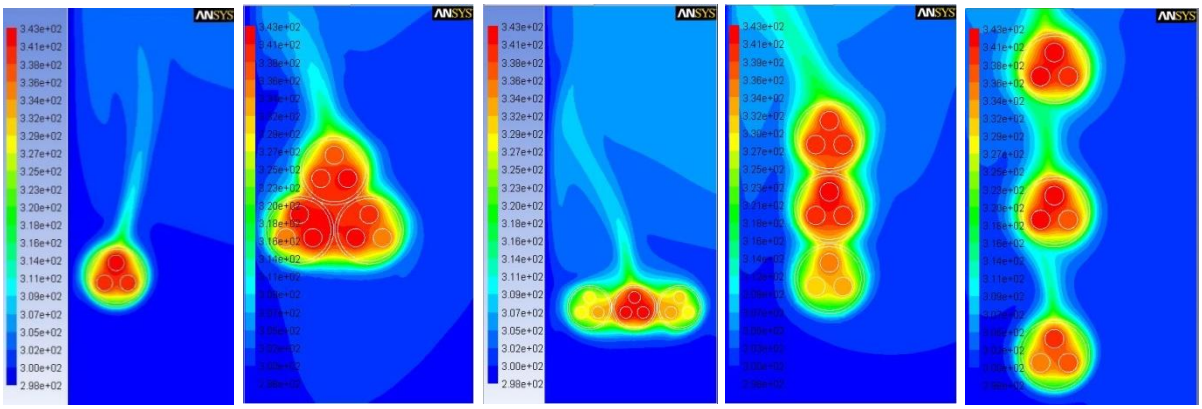


Рис. 3. Температурные поля кабелей

Таблица 2. Значения рабочих токов различных способов прокладки

№ прок-ладки	Рабочие токи, А		Расхождение результатов, %
	ANSYS	ГОСТ Р МЭК	
1	295	291	1,37
2	193	186	3,76
3	206	199	3,52
4	248	236	5,08
5	264	254	3,94

Таким образом, при определении токовых нагрузок с помощью программного комплекса ANSYS можно закладывать геометрию кабелей практически любой сложности и учитывать различные условия эксплуатации кабельных линий, что существенно повышает точность и универсальность данного подхода.

Список литературы

1. *Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Непомнящий А.А.* Устойчивость конвективных течений. М.: Наука, 1989. 320 с.
2. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергия. 1975. 488 с.
3. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.
4. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю., Савченко В.Г.* Определение эксплуатационных характеристик кабелей, проложенных в кабельном канале // Электротехника. 2011. № 11. С. 16–19.
5. *Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Савченко В.Г.* Определение токовых нагрузок кабелей // Электротехника». 2010. № 6. С. 61–64.

05.02.02

Б.С. Юшков, А.С. Сергеев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Zzverdvd@mail.ru

ТРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗАННЫХ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА СКЛОНАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Промерзание поверхностных слоев земной коры обусловливает объемное деформирование грунта, выражается в увеличении объема и неравномерном поднятии их поверхности вследствие замерзания воды и образования ледяных включений. Недоучет морозного пучения грунтов, а также несвоевременное назначение противопучинных мероприятий наносят огромный ущерб народному хозяйству: снижают сроки и ухудшают условия эксплуатации автомобильных дорог, непроизводственные затраты труда, строительных материалов и финансовых средств. При этом особо важное значение приобретает совершенствование методов проектирования с всесторонним учётом и использованием природных факторов, влияющих на устойчивость дороги. Основным условием обеспечения устойчивости и прочности системы «дорожная одежда – земляное полотно» является недопущение переувлажнения или чрезмерного колебания влажности грунта земляного полотна. В зимний период при промерзании насыпи дорожной одежды происходит подтягивание влаги в зону промерзания из нижележащих слоев, через слой глинистого грунта в слой земляного полотна. В дальнейшем при оттаивании (в весенний период) насыпи дорожной одежды происходит перенасыщение влагой слоя земляного полотна, так как коэффициент фильтрации глинистого грунта близок к нулю. Ежегодное повторение циклов промораживания-оттаивания земляного полотна приводит к накоплению влаги на стыке глинистого грунта и песка. Миграция влаги и льдообразование в этой зоне изменяют физические и механические свойства глинистого грунта, которое приводит к сползанию конструкции дорожной одежды по склону вниз.

Ключевые слова: *Морозное пучение, миграция воды, лёд, линзы, исследования, песок, глинистый грунт, датчики, влажность, температура, циклы, объем, зоны, обезвоживание.*

1 Экспериментальное лабораторное исследование:

При замерзании грунтов происходит миграция воды в зону промерзания, что приводит к морозному пучению пылевато-глинистого грунта. Инженерное прогнозирование параметров морозного пучения грунтов, несмотря на многочисленность исследований этого вопроса, развито в недостаточной степени. Это объясняется неясностью физической стороны процессов, сопровождающих криогенное пучение, что затрудняет математическую формулировку задачи. Для изучения деформации дорожной поверхности, приводящие к появлению трещин в асфальтобетоне, были проведены лабораторные исследования на кафедре Автомобильные дороги и мосты, целью которых являлось установление зависимости интенсивности пучения от скорости промерзания при различных термовлажностных режимах.

Вопрос о достоверности получаемых данных процесса промораживания с уменьшением числа экспериментальных опытов часто увеличивается погрешность измерений. Необходимо знать в каждом частном случае возможные границы уменьшения числа опытов и получаемую при этом достоверность. Постановка экспериментов часто связано с тем, что организация их является трудоёмкой и дорого стоящей задачей.

Минимальное необходимое число экспериментов можно определить, пользуясь формулой и задаваясь желательными пределами отклонения измеряемой величины от арифметической средней и доверительной вероятностью [1].

$$n_{min} = \frac{V^2}{P_{min}}$$

С уменьшением вероятности уменьшается число необходимых опытов, так при доверительной вероятности:

$$\beta = 0{,}95, \quad n_{min} = 8$$
$$\beta = 0{,}9, \quad n_{min} = 6$$
$$\beta = 0{,}8, \quad n_{min} = 4$$

Для экспериментальных исследований принимаем доверительную вероятность $\beta = 0{,}8,$ при которой число минимальных этапов равно 4 [2].

Для экспериментальных исследований по определению скорости миграции воды и сил морозного пучения были изготовлены два экспериментальных лотка размерами 15х15х90 см (Рис. 1), в которых была имитирована конструкция сопряжения дорожной одежды и земляного полотна автомобильной дороги. На дно контейнера было уложено 50 см глинистого грунта, а сверху чистый песок средней крупности мощностью 40 см. Глинистый грунт имел следующие физико-механические свойства: Плотность Р 1,92 кН/м^3, плотность сухого грунта P_d 1,58 г/см^3, природная влажность W 0,22, удельный вес частиц грунта γ_S 15,52 кН/м^3, коэффициент пористости е 0,738, плотность частиц грунта P_s 2,75 г/см^3, пористость n 0,42, степень влажности Sr 0,82, полная влагоёмкость Wsat 0,27, предел текучести I_L 0,65, влажность на границе раскатывания Wp 0,11,число пластичности I_P 0,17, влажность на границе текучести W_L 0,28.

Песок имел следующие физико-механические свойства: Плотность Р 1,54 кН/м^3, плотность сухого грунта P_d 1,27 г/см^3, природная влажность W 0,20, удельный вес частиц грунта γ_S 12,49 кН/м^3, коэффициент пористости е 1,081 , плотность частиц грунта P_s 2,65 г/см^3, пористость n 0,52, степень влажности Sr 0,49, полная влагоёмкость Wsat 0,41.

Для того чтобы стенки были гладкими, гидрофобными и обладали антифрикционными свойствами на внутреннюю поверхность лотков был нанесен слой смазки "Литол 24" толщиной 0,5 мм с рабочей температурой от -40°С до +120°С.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторном холодильно-морозильном шкафу "Зил" создавая процесс промораживание-оттаивание грунта (как в зимне-весенний период года) при температурах от +5 до -20 °С.

Рисунок 1. Экспериментальные лотки в холодильной камере

Рисунок 2. Теплоизоляция плитами из экструзионного пенополистирола

Для того, чтобы промораживание грунтов происходило сверху вниз дно и нижние боковые стороны контейнеров были теплоизолированы плитами толщиной 25 мм из экструзионного пенополистирола, по нормативной литературе термическое сопротивление теплоизоляционного кожуха должно быть не менее 0,8 м^{2}К/Дж [2], (Рис. 2).

Увлажнение глинистого грунта было организовано снизу с непрерывным подтоком воды к дну экспериментального лотка. Температура воды регулировалась системой автоматизированного контроля, которая поддерживала её положительной до +2°С [2].

С внутренней стороны по всей высоте экспериментального лотка к грунтам были прикреплены термодатчики и датчики измерения влажности, (Рис. 3).

Для измерения температуры использовалась система мониторинга Ситис: "Спрут", датчики располагались через каждые 10 см по высоте, (Рис. 4).

Для измерения влажности в грунте использовалась система на базе "Arduino" с датчиками "DFRobot", расположенных по высоте через каждые 15 см, (Рис. 4).

Скорость подтягивания влаги в зону промерзания грунта фиксировалась по вертикальной шкале линейки прикрепленной на стенки экспериментального лотка и датчиками влажности.

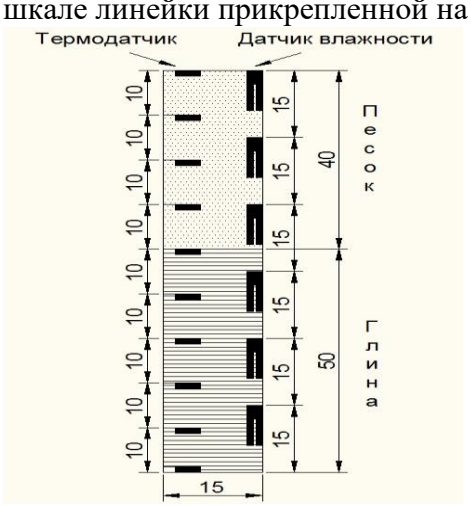
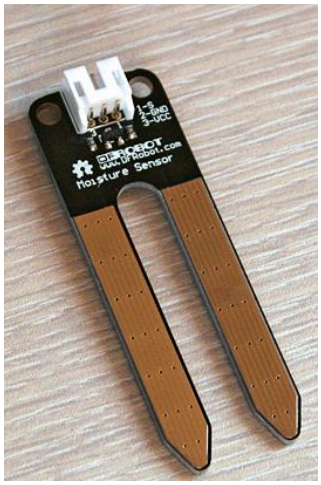


Рисунок 3. Схема размещения термодатчиков и датчиков влажности

Система Ситис "Спрут" с термодатчиками



Датчики влажности "DFRobot"

Рисунок 4.

Экспериментальные исследования проводились в течении 208 суток. Один этап промораживания-оттаивания включал в себя 4 цикла температурных перепадов, (Таб. 1).

Таблица 1

1 Этап промораживания-оттаивания

1 цикл		2 цикл		3 цикл		4 цикл	
24 часа	12 суток	24 часа	12 суток	24 часа	12 суток	24 часа	12 суток
понижение температуры с +5 до -1 °С - 12ч. с -1 до -5 °С - 12ч.		понижение температуры с -5 до -20 °С		повышение температуры с -20 до -5 °С		повышение температуры с -5 до -1 °С - 12ч. с -1 до +5 °С - 12ч.	

В 1 цикле при понижении температуры до -5°С происходило подтягивание влаги в зону промерзания из глинистого грунта на границу с песком со скоростью 0,95 см/сут при отношении природной влажности к влажности на границе раскатывания равная 0,96, (Рис.5). Во 2 цикле при дальнейшем понижении температуры до -20°С происходило дальнейшее охлаждение грунта и подтягивание влаги со скоростью 0,61 см/сут. При повышении температуры в 3 цикле до -5°С происходило изменение скорости подтягивания влаги до 0,74 см/сут. В 4 цикле экспериментальных исследований происходило дальнейшее подтягивание влаги из глинистого грунта в зону промерзания со скоростью 0,76 см/сут. Согласно плану эксперимента промораживания-оттаивания этапы повторялись друг за другом. Через 52 суток промерзания грунта было обнаружено образование линз льда на стыке глинистого грунта и песка, (Рис. 6) [3].

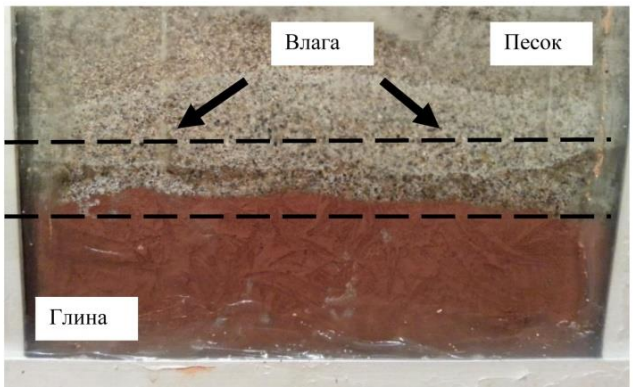


Рисунок 5. Контейнер 2
Подтягивание влаги в зону промерзания при температуре -5°С

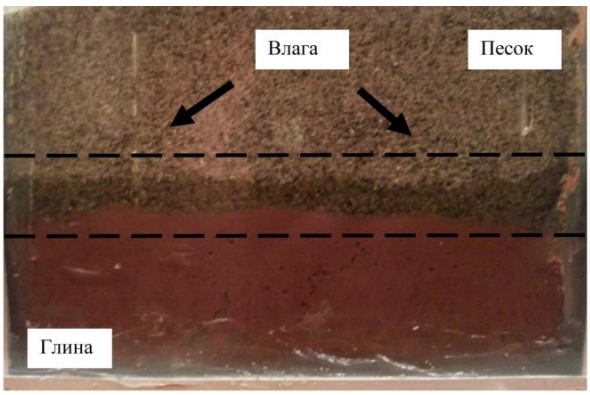


Рисунок 5. Контейнер 1 Подтягивание влаги в зону промерзания при температуре -5°С

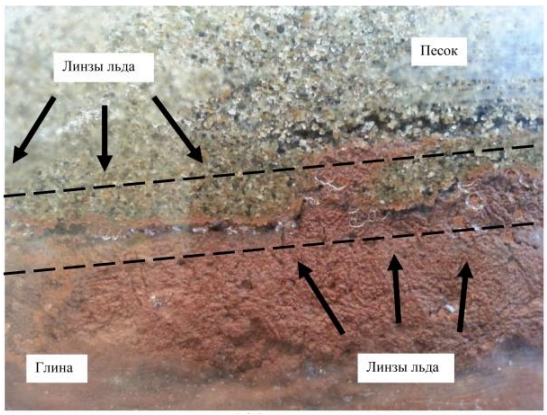


Рисунок 6. Образование линз льда

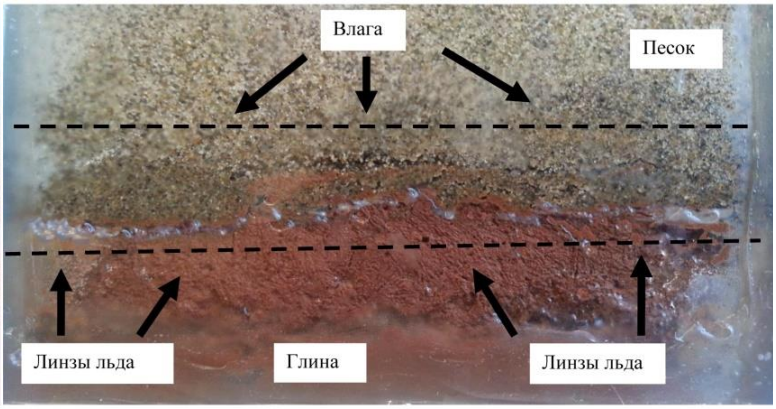


Рисунок 7. Увеличение размеров линз льда

Миграцию влаги в зону промерзания можно подсчитать исходя из суммы всех компонентов [4]:

$$F_{\text{пуч}} = F_{\text{масс}} + F_w + F_{\text{ус}}$$

где $F_{\text{пуч}}$ - величина пучения в верхней зоне

$F_{\text{масс}}$ - величина пучения за счет кристаллизации влаги в верхней зоне грунта

F_w - величина пучения за счет миграции влаги в верхнюю зону грунта

$F_{\text{ус}}$ - величина усадки талой зоны

Ориентировочную протяженность верхней зоны промерзания глинистого грунта можно определить исходя из средней скорости промерзания грунта в первые 12 - 15 суток после начала понижения температуры воздуха:

$$S = V_{\text{пром}} * t_{\text{пром}} = 0{,}95\frac{\text{см}}{\text{сут}} * 52\ \text{сут} = 49{,}4\ \text{см}$$

где $V_{\text{пром}}$ - скорость промерзания грунта

$t_{\text{пром}}$ - время промерзания грунта

Анализ экспериментальных исследований показал, что после 4 этапов промораживания-оттаивания были обнаружены существенные изменения физических свойств глинистого грунта:

1) произошло образование линз льда размерами 2-3 мм на стыке глинистого грунта и песка, (Рис. 6);

2) количество и размеры линз льда увеличиваются при дальнейшем подтягивание влаги до 5-6 мм, (Рис. 7).

2 Экспериментальное лабораторное исследование:

После 4 этапов промораживания-оттаивания экспериментальные исследования не закончились. На 5 этапе был перекрыт подток воды к дну экспериментального лотка, промораживание пылевато-глинистого грунта продолжалось в течении 110 суток. Зафиксированы изменения физических свойств глинистого грунта по глубине из-за

подтягивания влаги в зону промерзания. Изменялась влажность в нижней зоне (20 см от дна лотка) и таким образом грунт по показателю текучести изменялся с мягкопластичного на полутвёрдый, (Рис. 8,9) [5]. Изменение влажности зафиксировались датчиками, результаты приведены на графиках 1 и 2.

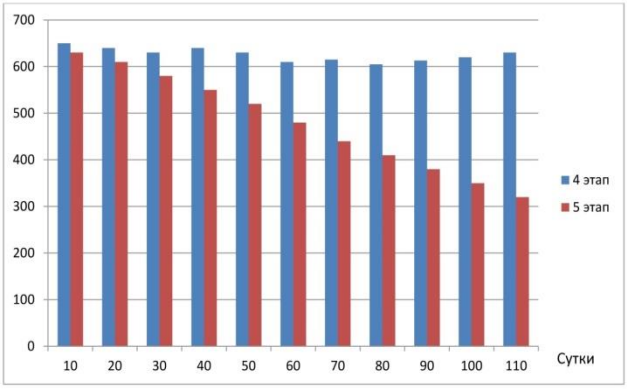


График 1. Показания датчика расположенного на дне контейнера

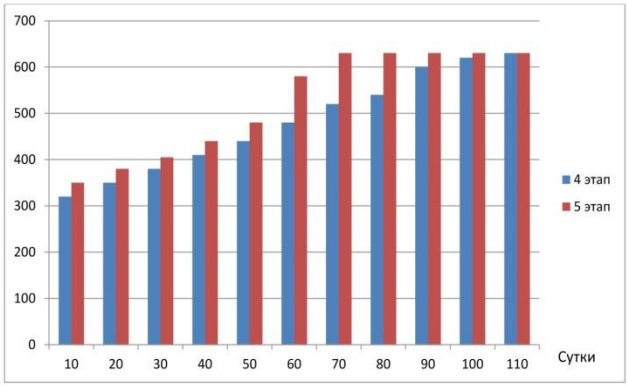


График 2. Показания датчика расположенного на стыке глинистого грунта и песка в контейнере

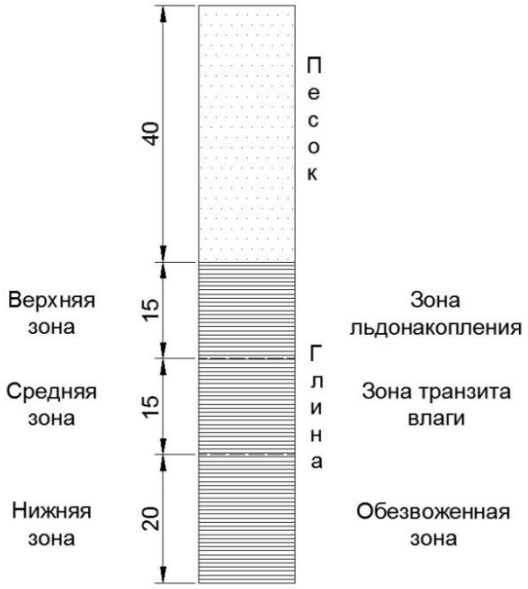


Рисунок 8. Схема формирования 3 зон глинистого грунта

Контейнер 2

Контейнер 1

Рисунок 9. Осушение глинистого грунта

Анализ экспериментальных исследований показал, что после 4 этапов промораживания-оттаивания формируются 3 зоны, связанные с интенсивностью промерзания пылевато-глинистого грунта в период сезонного понижения температуры воздуха.

В верхней зоне силы морозного пучения образуются в результате массового пучения грунта при кристаллизации содержащейся в грунте воды и замерзании миграционной влаги. При кристаллизации воды в процессе перехода в лед ее объем увеличивается на 10-17 %, вызывая массовое пучение грунта. Массовое пучение определяется скоростью движения границ раздела фаз. При быстром промерзании пылевато-глинистого грунта величина сил пучения меньше, чем при медленном. Это объясняется тем, что при быстром промерзании вода фиксируется в порах грунта и ее миграция к фронту промерзания затрудняется [6]. Следовательно процесс миграции воды зону промерзания развивается не в полной мере. Чем медленнее углубляется фронт промерзания, тем большие напряжения развиваются в грунте. Увеличение напряжений по глубине объясняется высокой степенью обезвоживания промерзающего грунта при медленном промерзании. По результатам экспериментальных исследований основную долю пучения верхней зоны составляет миграционное льдонакопление. Эта величина составляет 60-90 % от суммарного льдонакопления. Такое увеличение льдонакопления связано с резким повышением плотности потока влаги по причине роста градиента температуры [7]. Миграционная влага поступает в верхнюю зону из талых зон, расположенных ниже, степень промерзания которой будет всегда меньше по отношению к рассматриваемой зоне. Это объясняется тем, что промерзание верхней зоны всегда будет проходить более интенсивно благодаря поступлению холодного воздуха. Из-за интенсивного промерзания у дневной поверхности верхней зоны, вызывающие на себя значительные миграционные потоки влаги, создаются условия для появления участков значительного обезвоживания пылевато-глинистого грунта. На фоне обезвоживания возникают деформации усадки, создающие условия для перемещения промерзающего грунта соседних участков в этом направлении. Обезвоженная промерзшая зона, испытывая давление промерзающего грунта уплотняется. Уплотнённая средняя зона вблизи фронта промерзания в дальнейшем не обезвоживается и становится зоной транзитного переноса влаги при постоянной плотности миграционного потока при достижении глинистым грунтом предельной влажности усадки.

3. Экспериментальное лабораторное исследование:

Целью лабораторных исследований являлось определение линейных перемещений дорожной конструкции автомобильной дороги вниз по склону при повторяющихся этапах промораживания-оттаивания, как в зимне-весеннее время года.

Экспериментальные лабораторные исследования были проведены в течение 152 суток, в экспериментальном лотке и смонтированном внутри контейнере без дна размерами 92x36x38 см и 28x17x12, (Рис. 10, 11), в которых была имитирована конструкция сопряжения дорожной одежды и земляного полотна автомобильной дороги.

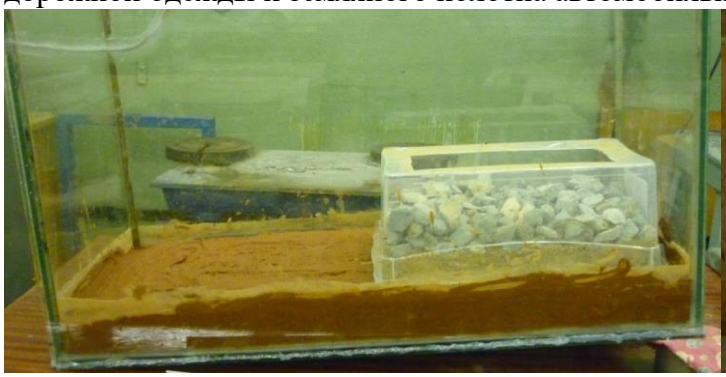


Рисунок 10. Экспериментальный лоток

Рисунок 11. Экспериментальный контейнер

На дно экспериментального лотка было уложено 34 см глинистого грунта. На глинистый грунт был уложен контейнер без дна с имитацией дорожной одежды с дренирующим слоем из чистого мелкозернистого песка толщиной 15 см и щебнем, (Рис. 12).

Принимаем стандартную конструкцию дорожной одежды для Пермского края:

Асфальтобетонные слои – 0,11 м (2,36 т/м^3)

Щебень – 0,18 м (1,3 т/м^3)

Песок – 0,71 м (1,7 т/м^3)

$$G = (\gamma_{аб} \cdot h_{аб} + \gamma_{щ} \cdot h_{щ} + \gamma_{п} \cdot h_{ап}) \cdot S = 1{,}7 \text{ т}$$

Давление от собственного веса дорожной конструкции на площадку 1 м^2 составляет 1,7 т (давление 16,67719 кПа), что в масштабе эксперимента давление на содержимое контейнера составляет 0,793 кПа [1].

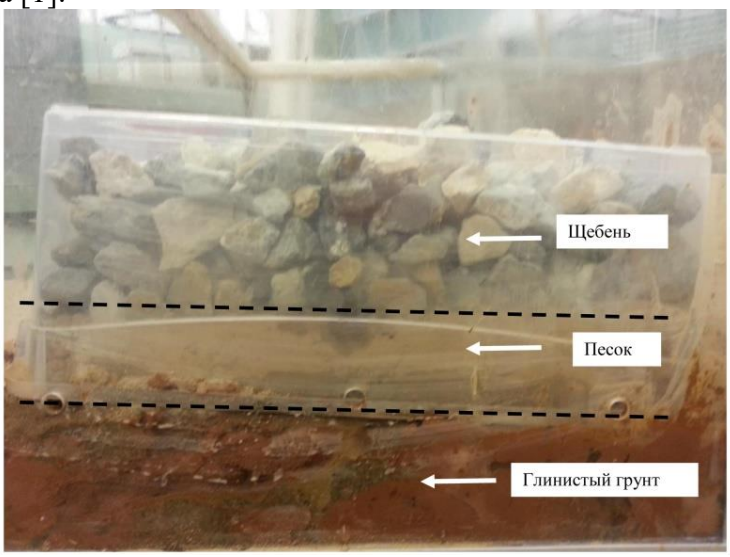


Рисунок 12. Контейнер с имитацией дорожной одежды

На контейнер плавно, не допуская ударов была приложена вертикальная нагрузка, равная давлению от собственного веса дорожной конструкции автомобильной дороги 0,793 кПа.

Увлажнение глинистого грунта производилось с помощью трубок с отверстиями, проложенных по дну экспериментального лотка, (Рис. 13). Температура воды регулировалась системой автоматизированного контроля, которая поддерживала её положительной до +2℃ [2].

Экспериментальные исследования проводились в лабораторном морозильном шкафу "Зил" имитируя процесс промораживание-оттаивание грунта (как в зимне-весенний период года) при температурах от +1 до -20 ℃, (Рис. 14).

Рисунок 13. Система увлажнение грунта с помощью трубок с отверстиями:
1 – Трубка с отверстиями; 2 - Датчик давления; 3 – Насос погружной

Рисунок 14.
Экспериментальный лоток в морозильном шкафу "Зил"

Рисунок 15.
Расположение индикаторов часового типа ИЧ 50

К корпусу экспериментального лотка были установлены 3 индикатора часового типа ИЧ 50, которые замеряли линейное перемещение контейнера по склону, (Рис. 15). С помощью модернизированного ручного домкрата один край экспериментального лотка был поднят от горизонтальной поверхности для имитации максимального уклона дороги в 40 промилле, который рекомендует нормативная литература.

Встает вопрос о достоверности получаемых данных, так как с уменьшением числа опытов часто жертвуют точностью. Необходимо знать в каждом частном случае возможные границы уменьшения числа опытов и получаемую при этом достоверность. Минимизация числа экспериментов часто связано с тем, что постановка их является трудоёмкой и дорого стоящей задачей.

Минимальное необходимое число экспериментов можно определить, пользуясь формулой и задаваясь желательными пределами отклонения измеряемой величины от арифметической средней и доверительной вероятностью [1].

$$n_{min} = \frac{V^2}{P_{min}}$$

С уменьшением вероятности уменьшается число необходимых опытов:

При $\beta = 0{,}95, \quad n_{min} = 8$

$\beta = 0{,}9, \quad n_{min} = 6$

$\beta = 0{,}8, \quad n_{min} = 4$

Принимаем доверительную вероятность $\beta = 0{,}95$, при которой число минимальных этапов равно 8 [2].

Экспериментальные исследования проводились в 20 этапов промораживания-оттаивания. Один этап промораживания-оттаивания включал в себя 4 цикла температурных перепадов со стабилизацией грунта в течение 24 часов, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

1 Этап промораживания-оттаивания

1 цикл	24 часа	2 цикл	24 часа	3 цикл	24 часа	4 цикл	24 часа
24 часа		24 часа		24 часа		24 часа	
понижение температуры с +1 до -5 °С		понижение температуры с -5 до -20 °С		повышение температуры с -20 до -5 °С		повышение температуры с -5 до +1 °С	

С 12 этапа индикаторы часового типа зафиксировали линейные перемещения контейнера, приведенные в таблице 2, (Рис. 16).

Таблица 2

Линейные перемещение, мм

Этап	ИЧ 1	ИЧ 2	ИЧ 3
12	0	0	0
13	1	1	2
14	2	2	3
15	4	5	5
16	6	6	7
17	6	6	6
18	6	7	7
19	7	8	8
20	7	8	8
Общая	39	43	46

Рисунок 16.
Перемещения контейнера по склону

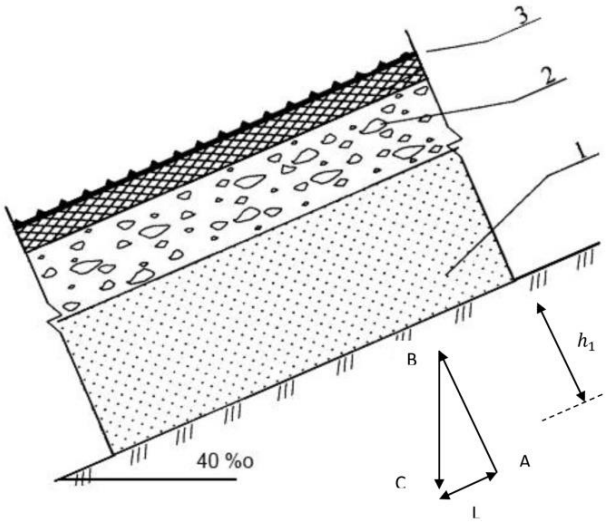


Рисунок 17.
Схема линейных перемещений дорожной конструкции по склону
1 – Песчаный слой; 2- Щебеночный слой; 3 - Асфальтобетонные слои

На основании выполненных экспериментальных исследований промораживания-оттаивания грунта определим условия формирования трещин.

В верхних горизонтах грунтового массива начинается переход в лед части свободной воды и резко ускоряется формирование полей объемно-градиентных напряжений, возникающих еще при охлаждении [3].

При промерзании глинистого грунта происходит его пучение (увеличение в объеме). Грунт расположенный в точке А на поверхности, переместиться вверх параллельно склону в точку В на величину, равную максимальной величине пучения, (Рис. 17) [4].

При оттаивании, достигая границы раздела фаз, некоторой глубины $\boldsymbol{h_1}$ (равной глубине расположения частицы) из точки В под действием сил тяжести происходит опускание дневной поверхности вертикально вниз в точку С, (Рис. 8). Величина смещения из точки А в точку С зависит от пучения, которое протекает по нормали к поверхности склона, и осадки, которое под действием силы тяжести развивается по вертикали.

Происходит смещение конструкции дорожной одежды на величину L из точки А в точку С на расстояние 46 мм вниз по склону, что приводит к образованию трещин в слое основания земляного полотна автомобильной дороги, (Рис. 18, 19) [5].

Повторяемость этой системы “оттаивания-смещения” конструкции дорожной одежды вниз по склону приведет к осыпанию части песчаного слоя во внутрь трещины. Под действием сил тяжести щебеночный слой переместиться вниз за песком, вследствие чего

образуется пустота под монолитными слоями покрытия. Под действием динамической нагрузки от транспорта произойдет образование поперечной трещины в асфальтобетонном покрытии, (Рис. 19) [6].

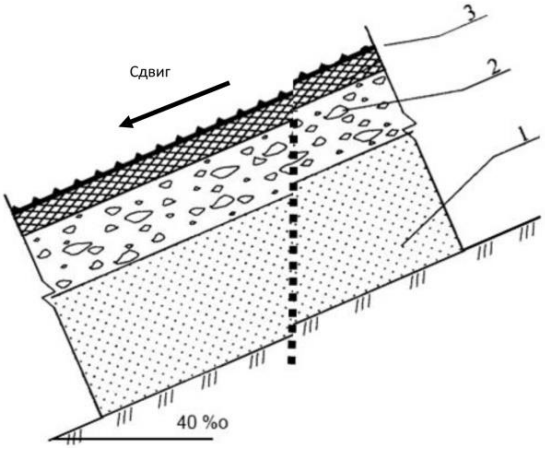


Рисунок 18 Схема смещения дорожной конструкции по склону
1 – Песчаный слой; 2- Щебеночный слой; 3 - Асфальтобетонные слои

Рисунок 19 Смещение дорожной конструкции по склону на автомобильной дороге улицы Центральной, село Лобаново, г. Пермь

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что процесс образования и роста трещин находится в зависимости от ряда факторов (температурный градиент, скорость промерзания, давления в скелете, местные ограничения деформаций, ход упрочнения грунта, плотность природных дефектов структуры и т.п.) [7]. При малой исходной влажности и следовательно большей связи воды с твердой фазой местных разрежений давлений, возникающих в связи с образованием трещин может оказаться недостаточно для смещения влаги. В этих случаях при промерзании будет развиваться пустополосная криогенная текстура.

Список литературы

1. *Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С.* Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994, 381с.
2. *Вялов С.С.* Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978, 447с.
3. *Кузнецов Г.Б.* Об одном подходе к описанию ползучести и релаксации материалов до разрушения. В кн.: Исследования по механике полимеров и систем. Свердловск, 1978. С.115-124.
4. *Месчян С.Р.* Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985, 342с.
5. Основания и фундаменты резервуаров. Под редакцией П.А.Коновалова. М.: Стройиздат, 1989, 223с.
6. *Кузнецов Г.Б.* О влиянии скорости в начале процесса на ползучесть и релаксацию материалов // Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений / Пермь. Перм.политехн.ин-т, 1972. С.21-24.
7. *Бронин В.Н., Вишневский Г.Д.* Прикладная теория ползучести грунтов: Учеб. Пособие. Л.: ЛИСИ, 1983, 49с.

05.13.01

С.А. Ямашкин

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет»,
факультет электронной техники, кафедра АСОИУ, yamashkinsa@mail.ru.

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В статье предложена методика анализа данных дистанционного зондирования Земли с использованием гибридных систем, формируемых на основе коллекции моно-классификаторов и мета-классификатора. Описана архитектура гибридной системы и принципы ее обучения.

Ключевые слова: *моделирование, ансамбль-системы, гибридные системы, Ensemble Learning. данные дистанционного зондирования, извлечение данных.*

Современная концепция проведения исследований в области природопользования основывается на обработке и анализе больших объемов разнородных данных и информации [1], особое место среди которых имеют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2].

Методология Ensemble Learning и использование гибридных систем представляют собой перспективное направление в анализе материалов ДЗЗ, заключающееся в построении комплексных систем на основе отдельных классификаторов, повышая тем самым точность классификации. Концепция использования гибридных систем (ансамбль-систем), в зарубежной литературе известная как Ensemble Learning, получила довольно широкое распространение в области машинного обучения, однако в области анализа данных дистанционного зондирования данный математический аппарат еще не получил широкого распространения. Этот факт подтверждается незначительным числом публикаций в этой области, которые освещают аспекты применения гибридных систем в приложении к дешифрированию космической съемки. Несмотря на это, применение АС в данном направлении видится актуальным.

Архитектура гибридных систем. Архитектура гибридных систем строится на основе объединения ряда классификаторов в единую систему с целью повышения итоговой точности проводимой классификации. Ключевыми структурными элементами ансамбль-системы являются: набор моно-классификаторов, формируемый из отдельных алгоритмических блоков управляемой классификации, которые могут иметь как одну природу (но, к примеру, отличные друг от друга параметры [3]), так и совершенно разную (нейронные сети, машины опорных векторов, деревья принятия решений) [4]; мета-классификатор, компонент, анализирующий результат классификации, предоставленный моно-классификаторами и принимающий итоговое решение о принадлежности объекта какому-либо классу.

Обобщенная структурная схема ансамбль-системы имеет следующий вид. На вход системы подается объект X, характеризуемый вектором параметров $\{x_1, \dots, x_j, \dots, x_k\}$. Каждый из классификаторов системы выносит частную гипотезу y_i о принадлежности объекта определенному классу и передает ее мета-классификатору, который принимает итоговое решение Y о том, к какому классу относится объект.

При построении гибридных систем такого рода необходимо решить четыре основополагающие задачи: выбрать, какие классификаторы (моно-классификаторы) целесообразно включить в состав системы; определить алгоритм функционирования мета-классификатора как структурного блока, отвечающего за объединение моно-классификаторов в единое целое; обучить моно-модели и мета-классификатор; оценить качество классификации и производительность как ансамбль-системы, так и моно-моделей, входящих в ее состав.

Обучение гибридных систем. Первым шагом процесса обучения ансамбль-системы является обучение отдельных моно-классификаторов, входящих в ее состав. Процесс обучения моно-моделей имеет характерную структуру, свойственную их природе и должен осуществляться на основе обучающего набора данных, подготовленного специалистом.

Второй ступенью является оценка эффективности классификатора N. Анализ данных ДЗЗ, предполагающий обработку данных больших объемов с выделением множества классов земель по спектральным характеристикам геофизической поверхности, особенно сильно нуждается в инструменте, позволяющем проводить оценку выполненной классификации. Для этих целей отлично подойдет методология матриц ошибок и метрик, вычисляемых на ее основе.

Матрица ошибок позволяет на основе соотношения значений ее элементов рассчитывать различные метрики, характеризующие успешность, точность, ошибочность работы классификатора. Целесообразно брать в расчет параметры, имеющие относительный характер, нормированные в своем значении верхним и нижним порогами [5]. Совокупность описываемых метрик можно разделить на две категории: характеризующие правильность и ошибочность. Значения метрик первого блока целесообразно максимизировать, второго, напротив, –минимизировать до нуля.

Относительные метрики правильности классификатора: чувствительность (характеризует долю объектов класса i, классифицированных верно), избирательность (рассчитывается, как доля объектов, не принадлежащих классу i, которые и были отнесены к отличному от i классу), точность (определяется как доля объектов, верно отнесенных к классу i, от общего числа объектов, классифицированных как i), прогностическая ценность верного отклонения (показывает долю объектов, верно определенных как не принадлежащие классу i, от общего числа объектов, классифицированных как не относящиеся к классу i).

Метрики ошибочности (промах, выпадение, ложное обнаружение, ложное умалчивание) комплементарны соответствующим метрикам правильности и измеряются в пределах от 0 до 1. Метрики правильности и ошибочности классификатора логично использовать для оценки функционирования отдельных классификаторов. Но не меньшую ценность они могут иметь, если включить их в работу ансамбль-систем для построения мета-классификатора.

Третий шаг заключается в обучении мета-классификатора как структурного блока, анализирующего гипотезы, принятые отдельными классификаторами. В простейшем случае принятие решения может осуществляться методом равного голосования. Однако в случае, когда в системе большая доля классификаторов принимает некорректное решение в отношении выявления принадлежности объекта определенному классу, а компетентные классификаторы остаются в меньшинстве, система примет неверное решение. Поэтому необходимо ввести некие коэффициенты компетентности классификатора в конкретных классах.

Ввод весового коэффициента компетентности должен повысить эффективность принятия решений мета-классификатором. Метрики, вычисляемые на основе матрицы ошибок, позволяют оценить качество определения классификатором конкретного класса и соответственно потенциально подходят на роль коэффициентов компетентности. В качестве меры компетентности классификатора можно принять величину гармонического среднего точности и чувствительности.

Расчет коэффициентов компетентности для каждого моно-классификатора ансамбль-системы позволит построить мета-классификатор, осуществляющий взвешенное решение о принятии той или иной гипотезы, предоставляемой группой классификаторов системы.

Четвертый шаг обучения заключается в оценке эффективности работы мета-классификатора и всей Ансамбль-системы и может также осуществляться с использованием аппарата матриц ошибок. По результатам данного этапа можно ответить на два вопроса: эффективнее ли классификация, выполненная ансамбль-системой, чем классификация произведенная моно-моделями и насколько эффективнее такая классификация? Если ответ на первый вопрос будет утвердительным, а на второй – убедительным, можно приступить к

применению обученной ансамбль-системы к классификации данных дистанционного зондирования Земли.

Актуальность использования гибридных систем для анализа данных дистанционного зондирования Земли обосновывается возможностью получения следующих преимуществ: понижения ошибки и повышения точности работы отдельных классификаторов через объединение их в систему; уменьшения влияния ошибки, исходящей из процесса формирования тестовых и обучающих выборок, за счет комбинированного использования классификаторов, обученных на разных наборах данных; элегантного решения задачи параметризации классификатора за счет совместного использования моделей одного класса с различными параметрами.

Необходимость обоснования обозначенных выше возможных преимуществ и слабая изученность вопроса применения гибридных систем для классификации земель требуют проведения серьезных научных исследований, подкрепленных множеством численных экспериментов и апробированных при решении реальных практических задач.

Список литературы

1. Географический атлас Республики Мордовия / редкол.: д-р геогр. наук проф. А. А. Ямашкин (пред.), С. М. Вдовин, Н. П. Макаркин [и др.] – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 204 с.

2. *Федосин С.А.* Технологический процесс решения задачи моделирования структуры землепользования на базе данных ДЗЗ / С. А. Федосин, С. А. Ямашкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 356–359.

3. *Ямашкин А.А.* ГИС-моделирование ландшафтного разнообразия / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Геодезия и картография. – 2013. – № 11. – С. 40–46.

4. *Ямашкин А.А.* Использование нейронных сетей прямого распространения для ландшафтного картографирования на базе космических снимков / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин // Геодезия и картография. – 2014. – № 11. – С. 52–58.

5. *Powers D.* M. W. Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation" // Journal of Machine Learning Technologies. – 2011. – № 2. – P. 37–63.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, Р.Х. Зиятдинов

РОЛЬ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В ПРОЦЕССАХ ВУЛКАНИЗАЦИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Ключевые слова: пластификатор, вулканизация, ЯМР, олигомер, спин-спиновая релаксация.

Методом спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) исследовалось влияние пластификатора на кинетику формирования полимерной сетки. Контроль за скоростью процесса вулканизации осуществлялся по изменению времени спин-спиновой релаксации T_2. Показана связь времени T_2 с продолжительностью процесса вулканизации.

V.S. Minkin, R.H. Ziyatdinov

AS A PLASTICIZER IN THE CURING PROCESS NANOSTRUCTURED POLYSULFIDE OLIGOMERS

Keywords: plasticizer, vulcanization, (NMP), oligomer, spin-spin relaxation.

The method nuclear magnetic resonance was used for studying the role of plasticizers on process vulcanization of polysulfide oligomers. Speed of vulcanization prosess was connected with exchange of time spin-spin relaxation T_2. Shown relationship between process vulcanization duration and time spin-spin relaxation.

В.В. Дружинин, А.А. Лазарев, А.Г. Сироткина

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМУЛЫ ЛЕЖАНДРА $\pi_L(N)$ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Ключевые слова: формула распределения простых чисел, функция Лежандра.

Аналитически получена формула числа простых чисел на заданном отрезке в концепции двух буферных зон. В частном случае она переходил в эмпирическую формулу Лежандра, т. е. впервые дано логическое обоснование. Показаны другие аналоги формулы Лежандра.

V.V. Drujinin, A.A. Lazarev, A.G. Sirotkina

RATIONALE FOR FORMULA LEGENDRE $\pi_L(N)$ FOR THE NUMBER OF PRIMES

Keywords: the formula of distribution of prime numbers, Legendre function.

Analytically derived formula for the number of primes in a given interval in the concept of the two buffer zones. In the particular case it goes into the empirical formula of Legendre, i.e. this is the first time given the rationale. Showing other analogues of formula Legendre.

С.В. Ершов, Н.М. Труфанова, Н.И. Антипин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В ВИНТОВОМ КАНАЛЕ ЭКСТРУДЕРА И АДАПТЕРЕ

Ключевые слова: математическая модель, экструзия, расплав полимера, диссипация.

Экструзия является основным способом наложения пластмассовых оболочек и изоляции в кабельном производстве. Основным конструктивным элементом экструдера является шнек. Качество пластмассовой изоляции значительно зависит от шнека и выбранного технологического процесса. В данной работе представлена трехмерная математическая модель и численный анализ процессов течения и теплопереноса в винтовом канале экструдера и выходного адаптера.

S.V. Ershov, N.M. Trufanova, N.I. Antipin

INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER PROCESSES IN EXTRUDER SCREW CHANNEL AND ADAPTER

Keywords: mathematical model, extrusion, polymer melt, dissipation.

Extrusion is the main way of plastic cable sheathing and insulating in the cable industry. The main structural extruder element is a screw. The quality of the plastic insulation depends significantly on the screw and the selected technological process. This paper presents a three-dimensional mathematical model and numerical analysis of flow and heat transfer processes in the extruder screw channel and an output adapter.

С.А. Лобов, А.В. Казаков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ПОЛИМЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ СДВИГА

Ключевые слова: практические рекомендации, вязкость, скорость сдвига, температура, ANSYS.

Настоящая статья посвящена описанию практических рекомендаций по использованию экспериментальных данных в программном комплексе ANSYS. Зависимости вязкости от температуры и скорости сдвига полимерного материала были получены в результате проведения экспериментов на ротационном реометре. В качестве образца использовался безгалогенный компаунд на основе полиэтилена Megolon HF 1876. В результате исследования была разработана математическая модель процесса течения полимера, получены

S.A. Lobov, A.V. Kazakov

STUDY POLYMER VISCOSITY DEPENDING ON THE TEMPERATURE AND SHEAR RATE

Keywords: practical advice, viscosity, shear rate, temperature, ANSYS.

This article is devoted to describing the practical recommendations on the use of experimental data in the software package ANSYS. Temperature dependence of viscosity and shear rate of the polymer material was obtained by conducting experiments on a rotary rheometer. As the sample was used halogen compound based on polyethylene Megolon HF 1876. The study was a mathematical model of the process flow of the polymer obtained graphics viscosity distribution over the whole volume depending on the temperature and shear stress, as well as monitoring of the process over time. To validate the results of the numerical investigation was

графические изображения распределения вязкости по всему объему в зависимости от температуры и напряжения сдвига, а так же наблюдение за процессом с течением времени. Для подтверждения достоверности результатов численного исследования был произведён сравнительный анализ с экспериментальными данными.

made a comparative analysis of the experimental data.

С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков

УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ DEE

Ключевые слова: линия насыщения, линия упругости, критические индексы, модель Вегнера, DEE, уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

На примере описания линии насыщения хладона DEE проведен анализ модели линии насыщения Вегнера. Установлено, что использование уравнения Клапейрона-Клаузиуса для описания паровой ветви линии насыщения в рамках модели Вегнера позволяет с удовлетворительной точностью описать линию фазового равновесия DEE в температурном диапазоне от 257 К до критической температуры. Представленная в работе информация позволяет для указанного диапазона температур рассчитать термодинамические таблицы, включающие плотность на паровой и жидкостной ветвях линии насыщения, давление $p_s(T)$ *на линии упругости, производные* $p_s^{'}(T)$, $p_s^{''}(T)$ *и теплоту парообразования.*

S.V. Rykov, I.V. Kudryavtseva, V.A. Rykov

THE EQUATION FOR THE SATURATION LINE DEE

Keywords: saturation line, the line of elasticity, critical indices, Wegner model, DEE, equation of Clapeyron-Clausius.

On the example of the description of the saturation line of DEE the analysis models the saturation line Wegner. Found that the use of the equation of Clapeyron-Clausius to describe the steam branch of the saturation line within the model of Wegner allows with satisfactory accuracy to describe the phase equilibrium line DEE in a temperature range from 257 K to the critical temperature. Information presented in this work allows to calculate the thermodynamic table comprising a density and a liquid line and steam line of the saturation branches, pressure $p_s(T)$ *on the line of elasticity, derivatives* $p_s^{'}(T)$, $p_s^{''}(T)$, *and the heat of vaporization for this temperature range.*

С.В. Рыков, В.А. Рыков, Г.А. Карпов, А.В. Свердлов

ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРЕМЕННЫХ ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА

Ключевые слова: гипотеза Бенедека, псевдоспинодаль, изобарная теплоемкость, уравнение состояния, критические индексы.

Обсуждается задача построения непараметрического уравнения состояния скейлингового вида для асимптотической окрестности критической точки в переменных давление p и температура T. В основу подхода положено представление масштабной гипотезы в виде зависимости, аналогичной рассчитанной на основе феноменологической теории Мигдала А.А., и гипотезы Бенедека. Получены фундаментальное и термическое уравнения состояния в переменных p и T, а также расчетные формулы для энтальпии, изобарной и изохорной теплоемкости, изотермического коэффициента сжимаемости. Установлено, что в рамках данного подхода на термодинамической поверхности отсутствует линия псевдокритических точек, удовлетворяющих равенствам $(\partial\rho/\partial p)_T = 0$ *и* $(\partial T/\partial s)_T = 0$, *а роль опорной кривой выполняет термическая спинодаль.*

S.V. Rykov, V.A. Rykov, G.A. Karpov, A.V. Sverdlov

FEATURES DESCRIBE THE CRITICAL REGION IN THE VARIABLES PRESSURE AND TEMPERATURE

Keywords: Benedek hypothesis, pseudospinodal, isobaric heat capacity, equation of state, critical indexes.

Discusses the problem of constructing nonparametric scaling equation of state for the asymptotic neighborhood of the critical point in the variables pressure and temperature. The approach should scale hypothesis in the form of addiction, similar to that calculated on the basis of the Migdal phenomenological theory, and Benedek hypotheses. Given basic thermal equation of state in the variables p and T, as well as formulas for enthalpy, isobaric and isochoric heat capacity, isothermal coefficient of compressibility. It was also found that under this approach the thermodynamic surface missing line of pseudocritical points that satisfy the equations $(\partial\rho/\partial p)_T = 0$ *and* $(\partial T/\partial s)_T = 0$ *and role and reference curve performs thermal spinodal.*

Е.В. Субботин, Р.Р. Зиннатуллин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ

Ключевые слова: расплав полимера, реологические уравнения, экструзия, численное моделирование.

В работе экспериментально определены значения

E.V. Subbotin, R.R. Zinnatullin

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MELT POLYMER RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS AT NUMERICAL SIMULATION OF EXTRUSION PROCESS

Keywords: polymer melt, rheological equations, extrusion, numerical simulation

In this paper values of coefficients for the power law, the

коэффициентов для степенного закона, модели Керри и уравнения Рейнольдса, описывающих зависимость вязкости расплава полимера от скорости сдвига и температуры. Проведен сравнительный анализ результатов численного моделирования процесса экструзии полиэтилена, полученных при использовании в расчетах разных реологических уравнений.

Carreau model and Reynolds equation describing the dependence of polymer melt viscosity versus shear rate and temperature has been experimentally determined. Comparative analysis of numerical simulation results of the polyethylene extrusion process obtained with use in calculations of different rheological equations was carried out.

А.И. Филиппов, М.А. Зеленова

СПОСОБ ОТЫСКАНИЯ ПЕРВОГО КОЭФФИЦИЕНТА АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЗАДАЧИ О ПРОГРЕВЕ ПЛАСТА

Ключевые слова: температурное поле, нефтеносный пласт, асимптотический метод.

На примере квазистационарной задачи о тепловом прогреве нефтегазового пласта описана процедура нахождения первого асимптотического коэффициента разложения, применимая для широкого класса задач сопряжения теории теплопроводности. Найдено среднеинтегральное граничное условие, обеспечивающее обращение в ноль асимптотически осредненного по толщине центрального слоя решения задачи для остаточного члена первого коэффициента асимптотического разложения. Это обстоятельство свидетельствует о том, что первое приближение также является «асимптотически в среднем точным» решением исходной задачи.

A.I. Filippov, M.A. Zelenova

METHOD FOR FINDING ASYMPTOTIC EXPANSIONS OF THE FIRST COEFFICIENT PROBLEM OF FORMATION WARMING

Keywords: temperature field, oil reservoir, asymptotic method.

For example, the quasi-stationary problem of heat warms the oil and gas reservoir describes how to find the first asymptotic expansion coefficient, applicable to a wide class of problems pairing theory of heat conduction. Found average integral boundary condition, providing treatment to zero asymptotically averaged over the thickness of the central layer of solving the problem for the remainder of the first coefficient of the asymptotic expansion. This fact suggests that the first approach is also "average asymptotically exact" solution to the original problem.

С.Д. Ханин, Д.В. Рябоконь

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ФАЗОВОГО СОСТАВА МЕТАЛЛООКСИДНЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТЯХ МИКРО- И НАНОМЕТРОВЫХ РАЗМЕРОВ

Ключевые слова. Металлооксидные пленки и наночастицы, кристаллы в аморфных пленках, бистабильные металлооксиды, фазовый переход «полупроводник – металл».

Экспериментально показаны возможности электрических и оптических методов в установлении фазовых изменений в металлооксидных тонких пленках и малых частицах, происходящих в областях микро- и нанометровых размеров. Представлены результаты использования электрических методов применительно к обнаружению кристаллов в аморфных диэлектрических пленках и бистабильных оксидов, образующихся в каналах пленочных переключательных устройств. Оптическим методом выявлен переход «полупроводник – металл» в наноразмерных частицах оптических нанокомпозитов.

S.D. Khanin, D.V. Ryabokon

THE ELECTRICAL AND OPTICAL METHODS OF THE PHASE STRUCTURE CHANGES DETECTION IN METAL-OXIDE SYSTEMS IN THE AREAS OF THE MICRO AND NANOMETER SIZES

Keywords: *metal-oxide films and nanoparticles, crystals in amorphous films, bistable metaloxides, phase transition "semiconductor – metal".*

The possibilities of electrical and optical methods in the establishment of phase changes in the metal-oxide thin films and small particles occurring in the areas of the micro and nanometer sizes are experimentally shown. The results of the use of electrical methods in relation to the detection of crystals in amorphous dielectric films and bistable oxides which are formed in the channels of film switching devices are presented. The optical method revealed transition "semiconductor – metal" in nanodimensional particles of optical nanocomposites.

Т.Е. Иванова, А.В. Исмагилова

ВЛИЯНИЕ АДАТОМОВ ТАЛЛИЯ НА НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕДИ

Ключевые слова: электроосаждение меди, адатомы, электрокатализ, электрокристаллизация, механизм зародышеобразования.

В работе представлены результаты исследования начальных стадий электрокристаллизации меди в присутствии адсорбированных на электроде атомов таллия. Показано, что адатомы таллия активируют поверхность катода, способствуя значительному

T.E. Ivanova, A.V. Ismagilova

THE INFLUENCE OF ADATOMS OF THALLIUM ON INITIAL STAGES OF COPPER ELECTROCRISTALLISATION

Keywords: electrodeposition of copper, adatoms, electrocatalys, electrocristallisation, mechanism of nucleation.

The results of studying the mechanism of initial stages of copper electrocrystallisation in presence of thallium atoms, adsorbed on electrode, is presented in the work. It is shown that thallium adatoms activate the surface of

увеличению числа зародышей меди и влияя на механизм зародышеобразования.

cathode, has been promotion a remarkable increasing of nuclear number of copper and influencing on mechanism of nucleation.

М.Н. Ахметов, Н.Д. Ахметов, М.М. Гимадеев, В.А. Кривошеев, А.Т. Кулаков

ВЛИЯНИЕ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯГАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МОНТАЖНУЮ МАКРОГЕОМЕТРИЮ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА

Ключевые слова: гильза цилиндра, допуски формы и расположения поверхностей, газовый стык, изменение геометрии.

Проведено моделирование в Siemens NX процесса сборки гильзы цилиндра на примере дизеля КАМАЗ и оценка возникающих при этом изменений макрогеометрии гильзы вследствие отклонений от теоретической формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей.

M.N. Akhmetov, N.D. Akhmetov, M.M. Gimadeev, V.A. Krivosheev, A.T. Kulakov

INFLUENCE OF FORM TOLERANCE AND MATING PARTS SURFACE POSITION ON CYLINDER LINER ASSEMBLY MACROGEOMETRY

Keywords: cylinder liner, form tolerance and surface position, gas joint, change of geometry.

The simulation of cylinder liner assembly process in Siemens NX was made by example of KAMAZ diesel engine and assessment of arising from this macrogeometrical liner changes because of deviations from theoretical form and position of mating parts surfaces.

В.Т. Бобронников, Хуан Ичун

АНАЛИЗ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ

Ключевые слова: Луна, лунный космический аппарат, траектории полетов к Луне, неопределенные факторы.

В работе дается описание типовых схем полетов, типовых миссий и соответствующих им схем полетов, обсуждаются основные трудности реализации полетов к Луне. В заключении указываются основные типы миссий и схем полетов, применительно к которым предполагается провести дальнейшие исследования задачи анализа траекторий движения ЛА с учетом случайных и интервально неопределенных факторов.

V.T. Bobronnikov, Huang Yichong

ANALYSIS OF FLIGHTS TO THE MOON

Keywords: Moon, lunar spacecraft, trajectories of flights to Moon, uncertain factors.

Description of typical missions of automatic spacecrafts and corresponding configurations of trajectories to the Moon are presented. Main difficulties while implementation of missions are discussed. Specific missions and trajectories are selected for further mission analysis considering different types of uncertain factors in a mission.

Е.Ф. Бояркина, В.Г. Логачев

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА УДС КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: прогнозирование количества автомобилей, математические модели, экологическое регулирование.

Анализируются экологические проблемы, возникающие вследствие перегрузки УДС города транспортными потоками. Рассматривается математическая модель формирования количества легковых автомобилей на УДС города и ее использование для разработки программ экологического регулирования.

E.F. Boyarkina, V.G. Logachev

THE MODELLING OF THE NUMBER OF PASSENGER CARS IN THE CITY ROAD NETWORK AS THE INSTRUMENT OF ECOLOGICAL CONTROL

Keywords: the forecasting of the number of passenger cars, the mathematical models, ecological control.

This paper presents the ecological problems, appeared because of the overbusy street traffic. The author describes the mathematical model of the forming of the number of passenger cars in the city road network and it's using for the working out of the ecological control projects.

Н.М. Труфанова, В.А. Будаян

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ КАБЕЛЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ ЧЕРЕЗ СТЕНУ ИЛИ ПЕРЕКРЫТИЕ

Ключевые слова: численный анализ, кабельная линия, способ прокладки, рабочая температур, допустимая нагрузка.

Работа посвящена математическому моделированию и численному исследованию процессов теплопроводности в кабельных линиях и окружающем пространстве при прокладке в зданиях и сооружениях. Определено влияние способов прокладки кабелей и используемых материалов на реализуемый температурный режим, токовою нагрузку и

N.M. Trufanova, V.A. Budayan

NUMERICAL ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELDS AND PERFORMANCE OF CABLE AT LAYING THE WALL OR CEILING

Keywords: numerical analysis, cable line, method of laying, operating temperature, load capacity.

The paper is devoted to mathematical modeling and numerical study of heat conductivity processes in cable lines and the surrounding area while laying in buildings. The influence of the cable routing and the materials used in the realized temperature, current load, and the safety of the cable line. The practical recommendations on the rational use of seal materials for laying cables through the walls of buildings.

безопасность работы кабельной линии. Приведены практические рекомендации по рациональному использованию материалов заделки при прокладке кабелей через стены зданий.

И.Б. Гинзбург, С.Н. Падалко, М.Н. Терентьев

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПЫТАНИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МНОГОШЛЮЗОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С АВТОНОМНЫМ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕМ

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, распределенные системы дистанционного мониторинга, отказоустойчивые системы мониторинга, автономные веб-приложения.

Рассматривается концепция систем дистанционного мониторинга, соответствующая современным требованиям производства и испытаний аэрокосмической техники, а именно: установка датчиков и исполнительных устройств в труднодоступных произвольных местах объектов обслуживания, отказоустойчивость в условиях нестационарных помех, а также возможность удаленного доступа к текущим измерениям с широкого спектра клиентских устройств. В основе предложенной концепции лежит синергетическое использование многошлюзовой беспроводной сенсорной сети, обеспечивающей отказоустойчивую связь с датчиками и исполнительными устройствами, и автономного веб-приложения, обеспечивающего отказоустойчивую связь с центрами хранения и обработки данных мониторинга и управление измерениями с разнообразных терминальных устройств.

I.B. Ginzburg, S.N. Padalko, M.N. Terentiev

THE CONCEPT OF AEROSPACE ENGINEERING REMOTE MONITORING SYSTEMS FOR MANUFACTURING AND TESTING PROCESSES BASED ON WIRELESS MULTIGATEWAY SENSOR NETWORK WITH A STANDALONE WEB APPLICATION

Keywords: wireless sensor networks, distributed remote monitoring systems, fault-tolerant monitoring systems, stand-alone web applications.

The concept of remote monitoring systems proposed, corresponding to modern requirements of production and testing of aerospace engineering, namely the installation of sensors and actuators in hard-to-reach arbitrary locations of objects of service, fault-tolerance in a non-stationary interference, as well as remote access to current measurements with a wide range of client devices. The proposed concept is based on the synergetic use of multigateway wireless sensor network, providing fault-tolerant communication with sensors and actuators, and a stand-alone Web application that provides fault-tolerant connection to the monitoring data storage and processing centers and measurements control for a variety of terminal devices.

А.А. Ершов, А.В. Теренчук

СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ШТОРМОВОГО ПЛАВАНИЯ СУДНА

Ключевые слова: штормовое плавание судов, круговые диаграммы, способы автоматизации.

В работе рассматривается использование специально рассчитанных круговых диаграмм для определения опасных параметров качки, а также других элементов, влияющих на мореходность судна в условиях шторма, которое дает возможность автоматизировать обеспечение безопасности штормового плавания.

A.A. Ershov, A.V. Terenchuk

WAYS TO AUTOMATE STORM NAVIGATION OF THE VESSEL

Keywords: sailing of the ships in storm, the circular charts, ways to automate.

The paper discusses the use of specially designed circular charts to determine the parameters of the dangerous pitching, as well as other elements that affect the seaworthiness of the vessel in a storm, which enables to automate the safety of storm navigation.

А.А. Ершов, Д.А. Хухарев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ШВАРТОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Ключевые слова. Планшеты управления судном. Швартовые операции. Безопасность и эффективность. Одновинтовые суда.

В работе рассматривается использование специально рассчитанных планшетов управления судном для обеспечения безопасности и эффективности швартовных операций одновинтовых судов в российских портах.

A.A. Ershov, D.A. Huharev

ENSURING SAFE AND EFFICIENT MOORING OPERATIONS

Keywords. Vessel maneuvering tables. Mooring operations. The safety and efficiency. Ehe vessels with single propeller.

The paper discusses the use of a specially designed vessel maneuvering tables of ship management for safety and efficiency mooring operations of the vessels with single propeller in the Russian ports.

А.В. Иващенко, М.В. Фролова

БИЗНЕС-СИМУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ

A.V. Ivaschenko, M.V. Frolova

BUSINESS SIMULATOR AS A TOOL FOR STAFF INTERACTION MANAGEMENT IN CROSS-

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

Ключевые слова: управление, организация, подготовка персонала, бизнес-симулятор, электронный университет.

В статье предлагается концепция и технология построения программного обеспечения бизнес-симулятора для решения задачи управления взаимодействием членов кросс-функциональных команд с учетом человеческого фактора.

FUNCTIONAL TEAMS

Keywords: management, organization, staff training, business-simulator, digital university.

This paper describes a concept and technology for business-simulator software solution to solve a problem of cross-functional team member's interaction management considering the human factor.

И.В. Кирсяев, В.В. Черняев

РАСЧЕТ РЕЖИМА РАБОТЫ СПЭ-КАБЕЛЯ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ЭКРАНАМИ

Ключевые слова: силовой кабель.

Цель данной работы – замена экрана из медных проволок на экран из алюминиевых проволок. Объектом исследования является силовой кабель марки ПвП 1х240/35-10. В результате исследования был получен силовой кабель с экраном из алюминиевых проволок не уступающий по характеристикам кабелю с экраном из медных проволок.

I.V. Kirsyaev, V.V. Chernyaev

THE CALCULATION MODE OF THE XLPE CABLE WITH ALUMINUM SCREENS

Keywords: power cable.

The purpose of this work is the replacement of cooper wire screen by aluminum wire screen. The object of the study is the power cable of model N2XS2Y 1x240 / 35-10. The study was resulted in getting power cable with aluminum wire screen with characteristics that are not worse than cable with cooper wire screen ones.

И.Б. Крылов

РАЗРАБОТКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Ключевые слова: интеллектуальные системы обучения, обучение автоматизированному проектированию, агентно-ориентированный подход, интеллектуальный агент, нечёткая нейронная сеть.

В статье рассматривается ряд причин, препятствующих широкому использованию интеллектуальных систем обучения автоматизированному проектированию в вузах. Обосновывается применение агентно-ориентированного подхода при разработке интеллектуальных систем обучения. Описывается разработанная модель интеллектуального агента корректировки индивидуальной траектории обучения. Рассматривается применение нечёткой нейронной сети Такаги-Сугено-Канга в интеллектуальном агенте, реализующем корректировку индивидуальной траектории обучения.

I.B. Krylov

DEVELOPMENT OF AGENT-BASED INTELLIGENT LEARNING SYSTEMS OF COMPUTER-AIDED DESIGN

Keywords: intelligent learning systems, learning computer-aided design, agent-based approach, intelligent agent, fuzzy neural network.

The article discusses a number of reasons preventing the widespread use of intelligent systems of learning computer-aided design in high schools. Substantiates the use of agent-based approach in the development of intelligent learning systems. Describes the model developed intelligent agent adjustments individual learning path. The application of fuzzy neural network Takagi-Sugeno-Kang is considered in the intelligent agent that implements the adjustment of individual learning paths.

Н.П. Крюков, В.Н. Турченко, С.Ю. Гамаюнов

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Ключевые слова: городской наземный электрический транспорт, охрана труда, условия труда работников трамвайных и троллейбусных парков, производственные факторы, профессиональные заболевания, профессиональные риски.

В работе представлена общая характеристика условий труда работников профессиональной группы с наиболее вредными и опасными производственными факторами и профессиональными рисками на предприятиях городского электротранспорта.

N.P. Kryukov, V.N. Turchenko, S.J. Gamayunov

ANALYSIS OF THE CONDITIONS AND SAFETY OF WORKERS ENGAGED IN MAINTENANCE AND REPAIR OF PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT

Keywords: Urban electric transport, occupational Safety and Health, the working conditions of workers in the tram and trolleybus depot, production factors, occupational diseases, occupational risks.

The paper presents a description of the working conditions of employees of public electric transport. Analyzes the most harmful and dangerous production factors and occupational risks.

М.А. Куликов

ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРА КОАГУЛЯНТА ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА СИНТЕЗА АММИАКА

M.A. Kulikov

PREPARING A SOLUTION OF A COAGULANT FROM WASTE AMMONIA SYNTHESIS CATALYST

Keywords: spent catalyst for ammonia synthesis, water

Ключевые слова: отработанный катализатор синтеза аммиака, водоподготовка, осветление воды, коагуляция, раствор коагулянта.

В статье рассматривается использование отработанного катализатора синтеза аммиака для приготовления раствора коагулянта в процессах промышленной водоподготовки. Показано влияние концентрации серной кислоты на скорость растворения катализатора. Представлены сравнительные результаты испытаний полученных растворов и растворов из технического железного купороса.

treatment, water clarification, coagulation, coagulant solution.

The article discusses the use of waste ammonia synthesis catalyst for the preparation of coagulant solution in industrial water treatment. The influence of sulfuric acid concentration on the dissolution rate of the catalyst was shown. The comparative test results obtained solutions and technical solutions of ferrous sulfate have been presented.

Е.Н. Леонов

ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ И МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УСТАНОВКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ключевые слова: малая электротехническая система, когенерация, целевые функции, методы оптимизации.

В статье приведены целевые функции оптимизации электротехнических систем и комплексов с установками малой мощности использующими принцип распределенной когенерации. Приведены методы, используемые при их анализе и требования к ним.

E.N. Leonov

THE OBJECTIVE FUNCTION AND METHODS OF ANALYSIS IN THE DESIGN OF ELECTRICAL SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION INSTALLATIONS

Keywords: small electrical system, cogeneration, objective function, optimization methods.

The article presents the objective function of optimization of electrical systems and complexes with low-power devices using the principle of distributed cogeneration. The methods used in their analysis and requirements.

А.А. Минаев

МЕДИАТОРНАЯ СЕТЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Ключевые слова: Интернет вещей, мультиагентные технологии, медиаторная сеть связи

В статье описывается программное решение для распределенной диагностической сети автономных устройств сбора и обработки данных, построенное с использованием мультиагентных технологий. Меадиаторная сеть распределенной диагностики предусматривает предобработку данных на устройстве сбора информации и балансировку загрузки сети, при которой устройства сбора информации участвуют в передаче данных в качестве посредников.

A.A. Minaev

MEDIATOR NETWORK FOR DISTRIBUTED DIAGNOSTICS

Keywords: the Internet of Things, multi-agent technologies, mediator network.

This paper describes a software solution for a distributed diagnostic network of autonomous devices for data processing built using multi-agent technology. Mediator network for distributed diagnostics provides data preprocessing by the device and network load balancing. In the process of balancing the devices act in the role of mediators in the process of data processing.

Д.В. Моисеев

СУЩЕСТВОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПОСТОЯНСТВА ЗАМКНУТЫХ МАРШРУТОВ НАИСКОРЕЙШЕГО ОБЛЕТА ЗАДАННОГО НАБОРА ТОЧЕК В ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ВЕТРА

Ключевые слова: маршрут полета, наискорейший облет точек, легкий беспилотный летательный аппарат, задача коммивояжера.

В статье показано, что все множество значений параметров постоянного ветра, которое может иметь место в конкретной зоне полета легкого беспилотного летательного аппарата, может быть представлено состоящим из подмножеств, каждому из которых соответствует определенный замкнутый маршрут наискорейшего облета заданного набора точек. Эти подмножества соответствуют совокупности областей в системе координат «скорость ветра - направление ветра». Геометрия, расположение и количество таких областей наглядно отражают «природу» влияния ветра на решение

D.V. Moiseev

EXISTENCE AND CONSTRUCTION AREAS OF CONSTANT FASTEST CLOSED FLIGHT-AROUNDS THE SET POINTS IN THE CONSTANT WIND

Keywords: flight route, fastest flight-around the set points, light unmanned aerial vehicle, traveling salesman problem.

The article shows that the entire set of constant wind parameter values, which can occur in a specific area of light unmanned aerial vehicle flight, may be submitted consisting of subsets, which corresponds to a certain closed fastest flight-around the set points. These subsets correspond to areas in the coordinate system "wind speed – wind direction". The geometry, location and number of such areas clearly reflect the nature of the wind effect on the solution of the task of finding the closed fastest flight-around the set point.

задачи поиска замкнутых наискорейших маршрутов полета в поле постоянного ветра.

П.А. Мошков

КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ЛЕГКИХ ВИНТОВЫХ САМОЛЕТОВ НА МЕСТНОСТИ

Ключевые слова: воздушный винт, шум воздушного винта, шум авиационной поршневой силовой установки, шум легких винтовых самолетов.

В статье рассмотрена возможная классификация источников шума легких самолетов с винтомоторными силовыми установками (СУ). Дан краткий обзор механизмов генерации шума воздушным винтом и авиационным поршневым двигателем. Спектр излучения силовой установки легкого винтового самолета включает в себя гармоническую и широкополосную составляющие, источниками которых являются воздушный винт и поршневой двигатель. Показаны факторы, влияющие на роль поршневого двигателя в суммарном шуме самолета на местности.

P.A. Moshkov

CLASSIFICATION OF COMMUNITY NOISE SOURCE BY LIGHT PROPELLER AIRCRAFTS

Keywords: a propeller; propeller noise; aviation piston power plant noise; light propeller aircrafts noise.

In the article possible classification of noise sources by light aircrafts with engine-propeller power plants (PP) is observed. The short review of noise generation mechanism is given by a propeller and the aviation piston engine. The spectrum of a power plant radiation by a light propeller aircraft includes the harmonic and broadband components which sources are the propeller and the piston engine. The factors influencing for a role of the piston engine in total noise by the community noise aircraft are shown.

Н.И. Никора, А.С. Чепурненко, А.Е. Дудник

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО СТЕРЖНЯ В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТИ

Ключевые слова: метод конечных разностей, ползучесть, вязкоупругость, физическая нелинейность, уравнение Максвелла–Гуревича.

В статье приводится методика расчета на устойчивость при ползучести полимерного стержня с учетом косвенной неоднородности, вызванной изменением температуры. Задача решается методом конечных разностей. Получено выражение для определения длительной критической силы. Показано, что при нагрузке, превышающей длительную критическую, на критическое время существенное влияние оказывает температура. Так, при повышении температуры стержня с 20 до 40 °С критическое время уменьшилось в 24 раза.

N.I. Nikora, A.S. Chepurnenko, A.E. Dudnik

THE STABILITY OF THE POLYMER ROD UNDER CONDITIONS OF NONLINEAR THERMOVISCOELASTICITY

Keywords: finite difference method, creep, viscoelasticity, physical nonlinearity, the Maxwell-Gurevich equation.

The article provides a method of calculating the stability of the polymer rod during creep with the indirect heterogeneity induced by temperature changes. The problem is solved by finite difference method. An expression for determining the long critical force is given. It is shown that when the load exceeds the long critical force, the critical time is significantly affected by temperature. Thus, if the rod temperature is raised from 20 to 40 ° C, the critical time decreases by 24 times.

А.И. Симонов

МЕТОД АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА СЛЕДСТВИЙ С ПОСТРОЕНИЕМ СХЕМЫ ВЫВОДА

Ключевые слова: абдуктивный логический вывод, множество следствий, схема вывода, дополнительный факт, исчисление высказываний.

В работе даётся содержательная и формальная постановка задачи. Приводится описание схемы вывода, предусматривающее задание литералам параметров и определение способа их отображения на схеме вывода. Предлагается метод абдуктивного вывода следствий с построением схемы вывода, применение которого иллюстрируется на примере.

A.I. Simonov

METHOD OF ABDUCTIVE LOGICAL INFERENCE OF CONSEQUENCES WITH CONSTRUCTION THE INFERENCE SCHEME

Keywords: abductive logical inference, variety of consequences, inference scheme, additional fact, propositional calculus.

This work gives a substantive and formal formulation of the problem. The description of the inference scheme is providing assignment parameters to literals and how they are displayed on the inference scheme. The method of abductive logical inference of consequences with construction the inference scheme is suggested, the use of which is illustrated by an example.

А.Е. Терлыч, А.Г. Щербинин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ НА ВЕЛИЧИНУ ДОПУСТИМОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ И ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Ключевые слова: допустимая токовая нагрузка, способы прокладки, экспериментальное исследование.

A.E. Terlych, A.G. Shcherbinin

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CURRENT LOAD AND THE COOLING PROCESS OF POWER CABLES DEPENDING ON THE CABLES LAYOUT

Keywords: current load, laying methods, experimental study.

The results of experimental studies of the effect of

Представлены результаты экспериментального исследования влияния различных способов прокладки на величину допустимой токовой нагрузки и процессы отвода тепла силовых кабелей. Приведены полученные зависимости температуры оболочки кабеля в пучке от величины протекающего по кабелям тока и теплового сопротивления окружающей среды от величины зазора в свету между кабелями.

different ways laying the value of ampacity and processes of heat dissipation of power cable. Shows the obtained temperature dependence of the cable sheath of the beam on the amount of current flowing through the cables, and thermal resistance of the environment from the gap clearance between the cables.

Н.М. Труфанова, М.В. Бачурина, А.В. Бондаренко
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕХСЛОЙНОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS FLUENT

Ключевые слова: трехслойное течение, стратифицированное течение, границы раздела потоков полимеров.

Данная статья посвящена определению полей скоростей, функций тока и границ раздела потоков полимеров с различными физико–реологическими свойствами при совместном наложении трех слоев полимерного покрытия, определению зависимостей толщин накладываемых слоев изоляции и полупроводящих материалов от значений расходов для каждого материала. Реализация сформулированной математической модели течения осуществлялась с помощью численного метода конечных элементов в программных пакетах Ansys Fluent.

N.M. Trufanova, M.V. Bachurina, A.V. Bondarenko
RESEARCH OF THREE-LAYER FLOW OF POLUMER MELTS USING SOFTWARE PACAGET ANSYS FLUENT

Keywords: three-layer flow, stratified flow, boundary flows of polymers.

This study is about definition of the velocity fields, function of current and boundary flows of polymers with different physical and reological properties, during joint overlay three layers of the polymer coating, determination of the dependence of the thickness of imposed layers of insulation and semiconducting materials from expenses for each materials. Realization the formulated mathematical model stratified flow is carried out using numerical method of finite elements in software packages Ansys Fluent.

Н.М. Труфанова, Н.А. Костарев
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ

Ключевые слова: парафины, ANSYS Fluent, тепломассоперенос, нефтяная скважина.

В данной работе рассматривается проблема образования асфальто-смоло-парафиновых отложений при эксплуатации нефтяной скважины. Была разработана математическая модель процессов тепломассопереноса в нефтяной скважине, реализация которой позволит определять области возможного выпадения парафина и условия предотвращения этого явления. Было исследовано влияние дебита и температуры забоя на длину участка возможного выпадения парафина.

N.M. Trufanova, N.A. Kostarev
RESEARCH PROCESS OF HEAT AND MASS TRANSFER IN AN OIL WELL *Keywords: paraffins, ANSYS Fluent, heat and mass transfer, oil well.*

In this paper the problem of formation of asphalt-resin-paraffin deposits that follows the exploitation of a oil well is risen. A mathematical model of heat and mass transfer has been developed in order to determine both areas, eligible to loss of paraffin and the ways of preventing such phenomenon. Dependence of the length of area, eligible to loss of paraffin from mass flow rate and temperature on the bottom was researched as well.

А.Ю. Тужилкин, А.А. Захаров
НАХОЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБЛИЖЕННОГО СРАВНЕНИЯ ГРАФОВ

Ключевые слова: нахождение соответствий, приближенное сравнение графов, компьютерное зрение.

В работе рассматривается задача нахождения соответствий на изображениях с использованием графов. Для нахождения соответствий на начальном этапе используются дескрипторы компьютерного зрения. Для исключения ложных соответствий применяется приближенное сравнение графов. Графы строятся на основе выделенных особенностей. Приведены результаты работы алгоритма.

A.Y. Tuzhilkin, A.A. Zakharov
FINDING MATCHES IN THE IMAGES USING INEXACT COMPARISON OF GRAPHS

Keywords: finding matches, inexact comparison of graphs, computer vision.

The problem of finding correspondences in the images with the use of graphs presented in the work. The descriptors of computer vision used to find correspondences in the initial stage. An inexact comparison of graphs used to eliminate false matches. The graphs are based on the selected features. The results of the algorithm are given.

О.И. Усович, Н.М. Труфанова
ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

O.I. Usovich, N.M. Trufanova
CHOICE OF RATIONAL MODE CABLE LINES AT

КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ УПЛОТНЕНИИ КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА

Ключевые слова: уплотненный кабельный канал, температурное поле, математическая модель, рациональный режим работы кабельного канала.

Для территорий с плотной инфраструктурой в стесненных городских условиях, зачастую, единственный способ передачи больших мощностей электрической энергии являются линии, проложенные в подземном канале. Однако при распределении электрической энергии в большинстве случаев внутреннее пространство подземных сетей используется неэффективно и в ряде случаев не соответствует правилам безопасности при эксплуатации. В данной работе рассматривается проблема выбора рационального режима работы кабельных линий в уплотненном кабельном канале. В ходе работы была создана математическая модель кабельного канала с упрощенной геометрией кабелей. В результате реализации математической модели был найден рациональный режим работы кабельных линий.

CONSOLIDATION OF THE CABLE CHANNEL

Keywords: compact cable channel, temperature field, mathematical model, a rational mode of operation of the cable channel.

For areas with a dense infrastructure in crowded urban areas, often the only way to transmit high power electricity lines are laid underground channel. However, when the distribution of electrical energy, in most cases the internal space of the underground network is used inefficiently and in some cases does not comply with operational safety. In this paper we consider the problem of choosing sustainable modes of cable lines in sealed conduit. The work was created a mathematical model of the cable channel with a simplified geometry of the cables. As a result of the mathematical model was found efficient operation of cable lines.

В.Б. Филатов

ВЛИЯНИЕ СИЛ ЗАЦЕПЛЕНИЯ В НАКЛОННОЙ ТРЕЩИНЕ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА

Ключевые слова: железобетонная балка, поперечный изгиб, наклонная трещина.

В работе рассматривается влияние сил зацепления в наклонной трещине на напряженное состояние сжатой зоны железобетонных балок в зоне поперечного изгиба. Предложена интерпретация результатов экспериментов на основе расчетной модели. Показано существенное влияние сил зацепления на распределение усилий в сечении.

V.B. Filatov

THE INFLUENCE OF THE AGGREGATE INTERLOCK FORCES IN THE INCLINED CRACK ON THE STRESS STATE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN THE ZONE OF THE TRANSVERSE BENDING

Keywords: reinforced concrete beam, transverse bending, inclined crack.

The paper examines the impact of the aggregate interlock forces in an inclined crack on the stress state of the compressed zone of reinforced concrete beams in the zone of transverse bending. An interpretation of the results of experiments on the basis of design model is proposed. A significant effect of the aggregate interlock forces on the distribution of forces in cross-section is shown.

Д.А. Харлямов, Р.Р. Зиннатов,
Г.В. Маврин, И.Г. Шайхиев

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА

Ключевые слова: тяжелые металлы, древесное волокно, магнетит, сорбент.

Получен композиционный сорбент на основе отходов древесного волокна и магнетита обладающий магнитными свойствами, исследованы его физические и сорбционные свойства, а также возможность использования для очистки сточных вод от тяжелых металлов, предложен способ регенерации и утилизации отработанного сорбента.

D.A. Kharlyamov, R.R. Zinnatov,
G.V. Mavrin, I.G. Shaikhiev

SEWAGE TREATMENT FROM HEAVY METALS WITH APPLICATION OF THE MAGNETIC COMPOSITE SORBENT ON THE BASIS OF A WASTE OF A WOOD FIBRE

Keywords: heavy metals, wood fibers, magnetite, sorbent.

In work the composite sorbent on the basis of a waste of a wood fibre and magnetite, possessing magnetic properties is received, investigated its physical and sorption properties and possibility of application for sewage treatment, the way of regeneration and recycling of the fulfilled sorbent is offered.

И.В. Храмцов, В.В. Пальчиковский, Е.В. Шаврина

ВЫБОР РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТВОДА ВОЗДУШНОЙ СТРУИ В ЗАГЛУШЕННОЙ КАМЕРЕ

Ключевые слова: заглушенная камера, затопленная струя, численное моделирование.

В статье приведены результаты моделирования течения затопленной струи в заглушенной камере с

I.V. Khramtsov, V.V. Palchikovskiy, E.V. Shavrina

CHOICE OF LOCATION OF OUTTAKE SYSTEM FOR AIR JET IN ANECHOIC CHAMBER

Keywords: anechoic chamber, submerged jet, numerical simulation.

The article presents results of numerical simulation of submerged jet flow in anechoic chamber to evaluate the

целью оценки влияния обратных течений на струю, а также выбора расположения системы отвода воздушной струи из камеры. Рассмотрены три варианта расположения конфузора. Для каждого варианта рассчитано распределение скоростей воздушных потоков по заглушенной камере.

influence of revers flows on the jet and choice of location of outtake system for air jet. Three variants of confusor location were considered. Distribution of air flow rate was computed for every location variant.

Л.И. Чайкин, А.А. Шопперт

ВЛИЯНИЕ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ НА ПРОЦЕСС СГУЩЕНИЯ КРАСНЫХ ШЛАМОВ В ЦИКЛЕ БАЙЕРА

Ключевые слова: процесс Байера, пыль электрофильтров, спекание, сгущение, красный шлам.

В работе представлены результаты исследования по влиянию пыли электрофильтров спекательного передела уральских алюминиевых заводов на скорость отстаивания красного шлама при промывке. Выявлено, что в присутствии пыли электрофильтров чистый слив можно получить на первой стадии промывки.

L.I. Chaikin, A.A. Shoppert

EFFECT OF ELECTROSTATIC DUST ON THE THICKENING OF RED MUD IN THE BAYER CYCLE

Keywords: Bayer process, electrostatic dust, sintering, thickening, red mud.

The paper presents the results of the study on the influence of electrostatic dust on the rate of thickening of red mud in washing step. It was found that in the presence of electrostatic dust net drain can be found at the first washing step.

Е.С. Шелихов, А.М. Черноусова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

Ключевые слова: алгоритм, технологическая подготовка производства (ТПП), программный комплекс, автоматизация, нежёсткий вал.

В работе рассмотрены особенности токарной обработки нежёстких валов на станке с ЧПУ, предлагается последовательность этапов технологической подготовки производства при их изготовлении. Для автоматизации технологической подготовки обосновано применение на отдельных этапах разработанного программного комплекса и результатов научных исследований авторов, позволяющих уменьшить бочкообразное отклонение профиля продольного сечения заготовок от заданного размера (погрешность) вследствие изгибающего действия силы резания.

E.S. Shelihov, A.M. Chernousova

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION NONRIGID SHAFTS

Keywords: algorithm, production planning (CCI) software system automation, nonrigid shaft.

The paper describes the features of turning nonrigid shafts on CNC machines, it proposed a series of steps technological preparation of production in their manufacture. To automate the process of training justify application at various stages of developed software and research sponsors, allowing to reduce the deviation of barrel-shaped profile of a longitudinal section of the blanks given size (error) due to the bending action of cutting forces.

С.А. Шишлов, А.Н. Шишлов

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ЯЧЕЕК ВЫСЕВАЮЩЕГО ДИСКА НА ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН СОИ

Ключевые слова: соя, ячейка, угол наклона, высевающий диск, травмирование.

В статье рассматривается травмирование семян сои высевающим аппаратом, содержащим вертикальный диск с ячейками, расположенными под углом к плоскости его вращения. Показано влияние угла наклона ячеек при различных окружных скоростях высевающего диска на травмирование семян сои. Приводятся некоторые результаты исследований.

S.A. Shishlov, A.N. Shishlov

THE INFLUENCE ANGLE INCLINATION CELLS OF A SEED DISC ON INJURY SEEDS OF SOYA

Keywords: soya, cell, angle of inclination, sowing disc, injury.

The article discusses the injury to the seeds of soybean seed metering apparatus, comprising a vertical disc with cells arranged at an angle to the plane of its rotation. Shows the influence of the angle of inclination of the cells on injury of soybean seeds at different circumferential speeds of the sowing disc. Presents some results of research.

А.Г. Щербинин, А.В. Гущин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ

Ключевые слова: математическая модель, тепловые процессы, прокладка в плоскости, прокладка в пучке, кабельная линия.

Построена математическая модель тепловых процессов кабельных линий проложенных на воздухе в

A.G. Shcherbinin, A.V. Gushchin

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER CABLE LINES 0.4 kV

Keywords: mathematical model, thermal processes, laying in a plane, bunched cables, cable line.

A mathematical model of thermal processes of cable lines laid in the air in the plane and in the beam, the finite element method to solve the problem of heat and mass. Get a picture of the temperature distribution in the

плоскости и в пучке, методом конечных элементов решена задача тепломассопереноса. Получена картина распределения температур при прокладке в плоскости и в пучке. Рассмотрено изменение максимальной температуры изоляции в зависимости от пропускаемого тока.

laying plane and the beam. The change in the maximum temperature of the insulation as a function of the transmitted current.

А.Г. Щербинин, К.Ф. Корзникова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПВХ-ПЛАСТИКАТА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 КВ

Ключевые слова: токовая нагрузка, эксплуатационные характеристики силового кабеля.

Решена задача по определению токовых нагрузок силовых кабелей с изоляцией из ПВХ пластиката на напряжение 6 кВ. Построена двухмерная математическая модель процессов тепломассообмена в воздухе при стационарном режиме работы исследуемых кабелей. Математическая модель построена на законах сохранения массы, количества движения и энергии, учитывающая тепловое излучение в условиях естественной конвекции и реализована в программном комплексе ANSYS Fluent.

A.G. Shcherbinin, K.F. Korznikova

DETERMINATION OF CURRENT LOADS OF POWER CABLES WITH PVC INSULATION 6 KV

Keywords: current load, the performance of the power cable.

In the present paper we solve the task of the definition of current loads of power cables with PVC insulation 6 kV. In the paper we construct a two-dimensional mathematical model of heat and mass transfer in air at steady-state operation of investigated cables. The task is based on the laws of conservation of mass, momentum and energy, taking into account the thermal radiation in conditions of natural convection. The model is implemented in the software package ANSYS Fluent.

А.Г. Щербинин, С.В. Стариков

РАСЧЁТ РАБОЧИХ ТОКОВ СИЛОВЫХ ШАХТНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПВХ-ПЛАСТИКАТА НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 КВ

Ключевые слова: рабочие токи кабеля, способы прокладки, математическое моделирование.

В работе представлены результаты исследования влияния способов прокладки силовых шахтных кабелей с изоляцией из ПВХ-пластиката на напряжение 6 кВ по стандартным методикам, а также с помощью программного комплекса ANSYS. Были построены температурные поля для рассматриваемых способов прокладки. Проведен сравнительный анализ результатов.

A.G. Shcherbinin, S.V. Starikov

CALCULATION OF OPERATING CURRENT POWER MINE INSULATED CABLES PVC 6 KV

Keywords: operating current cable, ways of pads, mathematical modeling.

It has been studied the influence of way of mine laying power cables with PVC insulation 6 kV according to standard procedures and using software package ANSYS. Temperature fields were constructed for all ways of pads. A comparative analysis of the results.

Б.С. Юшков, А.С. Сергеев

ТРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗАННЫХ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА СКЛОНАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ключевые слова: Морозное пучение, миграция воды, лёд, линзы, исследования, песок, глинистый грунт, датчики, влажность, температура, циклы, объем, зоны, обезвоживание.

Промерзание поверхностных слоев земной коры обусловливает объемное деформирование грунта, выражается в увеличении объема и неравномерном поднятии их поверхности вследствие замерзания воды и образования ледяных включений. Недоучет морозного пучения грунтов, а также несвоевременное назначение противопучинных мероприятий наносят огромный ущерб народному хозяйству: снижают сроки и ухудшают условия эксплуатации автомобильных дорог, непроизводственные затраты труда, строительных материалов и финансовых средств. При этом особо важное значение приобретает совершенствование методов проектирования с всесторонним учётом и использованием природных факторов, влияющих на

B.S. Yushkov, A.S. Sergeev

THREE LABORATORY EXPERIMENTAL STUDIES ASSOCIATED WITH THE FORMATION OF TRANSVERSE CRACKS ON THE SLOPES OF ROADS

Keywords: frost heave, the migration of water ice lenses, research, sand, clay soil, sensors, humidity, temperature, cycles, volume, area, dehydration.

The freezing of the surface layers of the earth's crust causes the deformation of the soil volume, expressed in the increase in non-uniform and picked up their surface due to freezing of water and formation of ice inclusions. Underestimation of frost heaving soils, as well as untimely appointment protivopuchinnyh events cause enormous damage to the national economy: reduce time and worsen the conditions of operation of highways, unproductive labor costs, building materials and financial resources. This becomes particularly important improvement of design methods with a comprehensive account of the use of natural factors affecting the stability of the road. The main condition for the sustainability and strength of the "pavement - subgrade" is to prevent waterlogging or excessive fluctuations in soil moisture roadbed. In winter, when freezing occurs

устойчивость дороги. Основным условием обеспечения устойчивости и прочности системы «дорожная одежда – земляное полотно» является недопущение переувлажнения или чрезмерного колебания влажности грунта земляного полотна. В зимний период при промерзании насыпи дорожной одежды происходит подтягивание влаги в зону промерзания из нижележащих слоев, через слой глинистого грунта в слой земляного полотна. В дальнейшем при оттаивании (в весенний период) насыпи дорожной одежды происходит перенасыщение влагой слоя земляного полотна, так как коэффициент фильтрации глинистого грунта близок к нулю. Ежегодное повторение циклов промораживания-оттаивания земляного полотна приводит к накоплению влаги на стыке глинистого грунта и песка. Миграция влаги и льдообразование в этой зоне изменяют физические и механические свойства глинистого грунта, которое приводит к сползанию конструкции дорожной одежды по склону вниз.

embankment pavement pulling moisture from freezing in the area of the underlying layers through a layer of clay soil in a layer of subgrade. Later during thawing (in the spring) takes the mound pavement glut moisture layer of subgrade, as clay soil filtration coefficient is close to zero. The annual repetition of freeze-thaw cycles subgrade leads to the accumulation of moisture at the intersection of clay soil and sand. Migration of moisture and ice formation in this zone alter the physical and mechanical properties of clay soil, which leads to the slipping pavement structure down the slope.

С.А. Ямашкин

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ключевые слова: моделирование, ансамбль-системы, гибридные системы, Ensemble Learning. данные дистанционного зондирования, извлечение данных.

В статье предложена методика анализа данных дистанционного зондирования Земли с использованием гибридных систем, формируемых на основе коллекции моно-классификаторов и мета-классификатора. Описана архитектура гибридной системы и принципы ее обучения.

S.A. Yamashkin

HYBRID ANALYSIS SYSTEM OF REMOTE SENSING DATA

Keywords: modeling, ensemble systems, hybrid systems, ensemble learning, remote sensing data, data mining.

The paper proposes a method for analyzing of remote sensing data using hybrid systems formed on the basis of a collection of mono-classifiers and meta-classifier. The architecture of the hybrid system and the principles of learning are described.

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 регистрационных 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 обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й В Е С Т Н И К П О В О Л Ж Ь Я

№4 2015

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.08.2015 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

10,5 усл.печ.л. 12,1 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1865.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"
420111, Республика Татарстан, Казань,
ул. Университетская, д.22, оф. 310
Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя
Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»