

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№9 2020

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2020**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №9 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 76 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

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» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.К. Половняк – 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

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. Минкин, А.В. Репина, Т.Ю. Старостина, Р.Х. Шагимуллин СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРОВ ЯМР СО СТРУКТУРОЙ ВУЛКАНИЗАТОВ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ

7

05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Н.А. Ляпин ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАРАНТИРУЮЩЕГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В ОПЕРАЦИИ ПЕРЕХВАТА ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ

11

С.В. Маков, И.И. Наумов, Д.Ю. Чернышов, И.О. Гринев, А.Ю. Минаев МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ГЛАСНЫХ ЗВУКОВ В ЗАШУМЛЁННОЙ РЕЧИ

15

05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

К.Н. Гавариева, Л.А. Симонова, В.В. Абрамова НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА

19

М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов, В.А. Куклин, Е.А. Бобина ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ УДАЛЕНИЯ НАЛЕДИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

23

05.13.11 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

В.Д. Петелина РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТОЧЕК

28

05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

И.С. Замулин, А.А. Голубничий, Н.Д. Артёмова РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «АБИТУРИЕНТ» ВУЗА ДЛЯ ОНЛАЙН-ЗАПИСИ В ПРИЕМНУЮ КОМИССИЮ

34

М.А. Масюк, А.А. Попов, Е.В. Горшков РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ ПОДБОРА ПАРОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА COLLECTION #1

38

05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

О.Ю. Долматов, Р.С. Шурыгин, М.Д. Юрченко, М.С. Кузнецов, В.В. Верхотурова МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ ВВЭР-1000 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SOLIDWORKS

44

<i>Н.В. Иваницкая, А.К. Байбулов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКОГО КРУГЛОГО ДНИЩА	49
<i>В.И. Курир</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА NX UNIGRAPHICS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА	53
<i>Ю.Г. Полкунов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В УСТУПНОМ РЕЖИМЕ РАЗРУШЕНИЯ	56
<i>И.Н. Сидоров, А.И. Энская</i> АЛГОРИТМ ГОМОГЕНИЗАЦИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	60

05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>В.В. Семенов, С.А. Арустамов</i> ОБОБЩЁННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ, УЧИТЫВАЮЩАЯ РИСКИ НАРУШЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	67
--	----

АННОТАЦИИ	71
------------------	----

THE RELEASE MAINTENANCE

V.S. Minkin, A.V. Repina, T.U. Starostina, R.Kh. Shagimullin RELATIONSHIP BETWEEN THE PARAMETERS OF NUCLEAR MRS WITH THE STRUCTURE OF VULCANIZATES OF LIQUID THIOKOLS	7
---	---

05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

N.A. Lyapin ASSESSMENT OF THE AIR-LAUNCHED WEAPONS IMPACT ON THE EFFECTIVENESS OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL GUARANTEEING ALGORITHM DURING THE AIR TARGET INTERCEPTION	11
S.V. Makov, I.I. Naumov, D.Y. Chernishov, I.O. Grinev, A.Y. Minaev MODIFICATION OF THE METHOD OF EXTRACTING VOICE SOUNDS IN NOISY SPEECH	15

05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

K.N. Gavarieva, L.A. Simonova, V.V. Abramova FUZZY REGULATION OF THE PROCESS OF PRECISION STAMPING OF GEARED BEADS ON THE BASIS OF MULTI-AGENT APPROACH	19
M.P. Danilaev, N.V. Dorogov, V.A. Kuklin, E.A. Bobina THE EFFICIENCY OF ANTI-ICING INTEGRAL SYSTEM, IN THE CYCLIC REGIME	23

05.13.11 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

V.D. Petelina REGULARIZING OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF PRETURBED MOTION OF A BODY, ANALYSIS OF SPECIAL POINTS	28
--	----

05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

I.S. Zamulin, A.A. Golubnichiym N.D. Artemova DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED INFORMATION SYSTEM MODULE "ABITURIENT" FOR ONLINE ENROLLMENT IN THE ADMISSION COMMISSION OF THE UNIVERSITY (ON THE EXAMPLE OF KATANOV KHAKASS STATE UNIVERSITY)	34
M.A. Masyuk, A.A. Popov, E.V. Gorshkov DEVELOPMENT OF A SOFTWARE APPLICATION FOR ESTIMATING EFFICIENCY OF PASSWORD SELECTION STRATEGIES BASED ON STATISTICAL ANALYSIS COLLECTION # 1	38

05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

O.Yu. Dolmatov, R.S. Shurygin, M.D. Yurchenko, M.S. Kuznetsov, V.V. Verkhoturova SIMULATION OF THERMAL PROCESSES IN A VVER-1000 REACTOR UNIT USING THE SOLIDWORKS SOFTWARE COMPLEX	44
N.V. Ivanitskaya, A.K. Baibulov INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE LOCATION OF STIFFENERS ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A FLAT ROUND HEAD	49
V.I. Kurir APPLICATION OF THE NX UNIGRAPHICS PACKAGE IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY	53
Yu.G. Polkunov MATHEMATICAL SIMULATION OF LOAD OF CONICAL DISK TOOLS IN CONCESSION MODE OF DESTRUCTION	56

<i>I.N. Sidorov, A.I. Enskaya</i> ALGORITHM OF HOMOGENIZATION OF ELASTIC PROPERTIES OF DISPERSEDLY REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIALS	60
---	----

05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY

<i>V.V. Semenov, S.A. Arustamov</i> GENERALIZED MODEL FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS FUNCTIONING THAT TAKES INTO ACCOUNT RISKS OF INFORMATION SECURITY	67
--	----

ABSTRACTS	71
------------------	----

¹В.С. Минкин д-р хим. наук, ¹А.В. Репина канд. техн. наук,
¹Т.Ю. Старостина канд. педагог. наук, ²Р.Х. Шагимуллин канд. техн. наук

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Факультет наноматериалов и нанотехнологий,
Кафедра «Физика»,

²Главный редактор «Научно-технического вестника Поволжья»,
Казань, nastia_repina@mail.ru, shagimullin@ntvp.ru

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРОВ ЯМР СО СТРУКТУРОЙ ВУЛКАНИЗАТОВ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ

В работе изучено влияние природы вулканизующих агентов и структуры образующейся вулканизационной сетки вулканизатов жидких тиоколов (полисульфидных олигомеров-ПСО) на изменение параметров спектров ЯМР в широком температурном интервале.

Ключевые слова: полисульфидный олигомер (тиокол), ПМР-спектры, физико-механические свойства.

Известно [1,2], что метод ЯМР позволяет наиболее полно проследить за изменением характера молекулярного движения в эластомерах, установить температурные переходы, происходящие в них, исследовать влияние строения олигомерной цепи, способа получения и других факторов на молекулярную подвижность эластомеров.

Рецепты вулканизации жидких тиоколов (полисульфидных олигомеров-ПСО) различными промышленными вулканизующими агентами (водным раствором бихромата натрия – $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, диоксидом марганца – MnO_2 и диоксидом свинца – PbO_2) с коэффициентов избытка вводимого вулканизующего агента $n=2$ приведены в работе [2].

Различие в структуре вулканизационных сеток должно оказывать влияние на молекулярную подвижность вулканизатов ПСО. Приведенные на рис.1 температурные зависимости ширины линии поглощения ЯМР для вулканизатов, полученных с различными отвердителями, показывают, что в области температур от -70 до $+10^\circ\text{C}$ для всех вулканизатов наблюдается резкий спад кривых, связанный с началом развитого сегментального движения [1,2] в полимерах. Аналогичные зависимости температурного поведения ширины линии ЯМР наблюдаются и для других концентраций вводимых вулканизующих агентов.

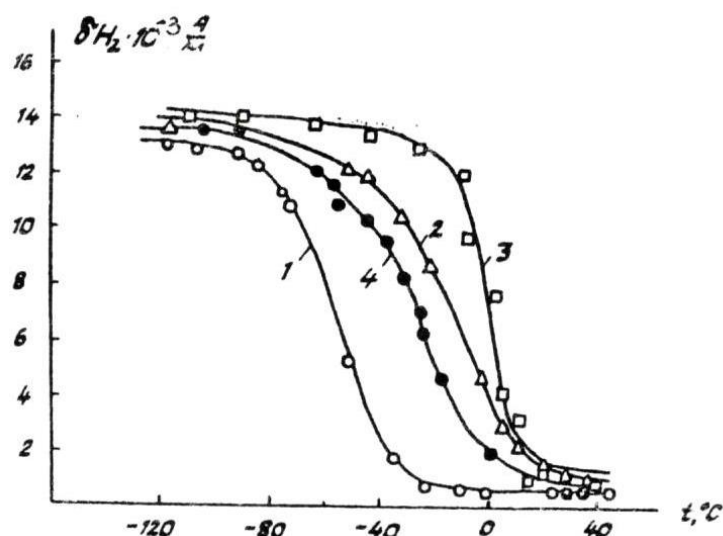


Рис. 1 – Температурная зависимость ширины линии ЯМР исходного ПСО (1) и его вулканизатов, полученных с использованием вулканизующих агентов $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (2), PbO_2 (3), MnO_2 (4). Во всех случаях коэффициент избытка вулканизующего агента равен 2

Сравнение температурных зависимостей ширины линии ЯМР для исходного полисульфидного олигомера и его вулканизатов показывает, что в процессе вулканизации происходит заметное торможение движений макромолекул в образце, поскольку интервал резкого сужения ширины линии ЯМР смещается в сторону более высоких температур для всех исследованных вулканизатов и становится более растянутым. Это связано не только со снижением способности к конформационным превращениям, но и с большими временами релаксации отдельных кинетических единиц. Обычно начало сегментального движения в полимерах определяют по температуре резкого сужения ширины линии ЯМР (ТСЯ) [2,3].

Экспериментально найденные значения ТСЯ оказываются зависящими от типа вулканизирующего агента и его дозировки. При использовании MnO_2 или PbO_2 независимо от их дозировки значения ТСЯ лежат ниже, чем для вулканизатов с использованием $Na_2Cr_2O_7$ (табл.1). Это может объясниться либо меньшей плотностью сетки, либо пластифицирующим эффектом дибутилфталата, вводимого в герметик в составе вулканизирующих паст. Действительно, плотность сетки при использовании MnO_2 ниже, чем для вулканизатов, полученных с применением $Na_2Cr_2O_7$ (табл.1). ТСЯ для вулканизатов, полученных с использованием $Na_2Cr_2O_7$, полностью коррелируют с изменениями плотности сетки в зависимости от концентрации вулканизирующего агента: минимальные значения ТСЯ

соответствуют максимально наблюдаемым $V_{эфф}$ и $V_{хим}$. При использовании MnO_2 такая корреляция отсутствует, поскольку при одновременном экстремальном изменении плотности полимерной сетки происходит равномерное монотонное увеличение количества пластификатора в системе. Причем с возрастанием коэффициента избытка (n) вулканизирующего агента количество вводимого дибутилфталата становится существенным (г/100 г полисульфида):

n	1,0	2,0	3,0	4,0
Количество ДБФ	3,2	6,5	9,7	13,0

Таблица 1. Плотности цепей молекулярных сеток V и величины ТСЯ вулканизатов ПСО в зависимости от типа, дозировки и формы применения окислителя

Вулканизирующий агент	MnO_2				Водный раствор $Na_2Cr_2O_7$				PbO_2		
Избыток окислителя	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
$V \cdot 10^1$ моль/см ³											
$V_{эфф.}$	0,77	2,27	2,15	1,60	2,3	3,3	3	2,77	0,62	1,345	1,26
$V_{хим.}$	0,20	1,15	1,05	0,80	0,25	1,58	1,4	1,17	0,46	0,82	0,62
ТСЯ, °C											
Окислитель в виде промышленных паст	-30	-26	-22	-12	-20	-10	-18	-15	-5	0	-4
Порошкообразный окислитель	-42	-26	-32	-18					-32	-10	-14

Мы попытались связать между собой найденные по методике [2,3] из температурных зависимостей спектров ЯМР значения температур резкого сужения линии ЯМР - ТСЯ, которые характеризуют температуру стеклования вулканизатов с параметрами полимерных сеток вулканизатов. Содержание вулканизирующего агента определяет как плотность цепей сетки, так и значения ТСЯ (таблица 1).

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что величина ТСЯ коррелирует сетки только для вулканизатов, полученных с использованием в качестве вулканизирующего агента водного раствора бихромата натрия. При использовании диоксидов свинца и марганца

в виде промышленных вулканизующих паст такая корреляция отсутствует. Более того, повышение содержания пластификатора (дибутилфталата), вводимого в вулканизаты в составе вулканизующих паст, не приводит к ожидаемому снижению величины ТСЯ. Напротив, с увеличением содержания вулканизующей пасты, а, следовательно, и количества пластификатора, значения ТСЯ смещаются в область более высоких температур. Иной характер имеет зависимость ТСЯ от плотности цепей сетки для вулканизатов, полученных в отсутствие пластификатора. В этом случае наблюдается четкая корреляция изменения температуры сужения линии ЯМР и значений плотностей полимерных сеток: максимальные

значения ТСЯ во всех случаях соответствуют максимально наблюдаемым $V_{эфф}$ и $V_{хим}$. Этот факт может быть связан с тем, что для каждого вулканизующего агента образуется своя характерная структура полимерной сетки. При этом оказывается, что введенный в составе вулканизующих паст пластификатор, может существенно повлиять на процесс формирования полимерных сеток. Поэтому области перехода на температурных зависимостях ширины линии δH и найденные температуры сужения ТСЯ для вулканизатов, полученных с пластификатором, могут определяться не только густотой пространственной сетки, как в случае порошкообразных окислителей, но и микроструктурой полимера, наличием локальных жестких фрагментов, которые могут оказывать заметное влияние на молекулярную подвижность цепей, но не вносить вклада в плотность химических цепей полимерной сетки. К их числу могут относиться установленные нами адсорбционные связи макромолекул с диоксидами металлов, роль которых особенно велика при использовании гетерогенных окислителей MnO_2 и PbO_2 . При этом различное поведение вулканизатов, проявляющееся по температурным зависимостям спектров ЯМР, связывается с разной степенью локализации окислителя в системе. Процессы формирования сетки из ПСО в присутствии вулканизующей пасты на основе MnO_2 и без пластификатора будут различными: введение MnO_2 в состав композиции в виде гомогенной пасты, которая достаточно однородно распределяется по всему объему, способствует более полному превращению концевых групп олигомера, чем в случае применения такого же количества порошкообразного окислителя. При этом возрастает роль специфической адсорбции макромолекул на твердых поверхностях двуокиси марганца. В свою очередь наличие пластификатора в системе может оказывать влияние на число образующихся донорно-акцепторных связей возможной координации атомов полимерной цепи и атомов марганца. Так, рассчитанные значения вторых моментов для вулканизатов, полученных с использованием вулканизующей пасты, при низких температурах, имеют большее значение, чем таковые в случае использования порошкообразного окислителя (26,2 и 20,1 Гс² соответственно); возрастание роли адсорбционных явлений в системах с пастообразной MnO_2 подтверждается также и по ранее найденным тепловым эффектам процесса вулканизации ПСО, а также по значениям параметров вулканизационной сетки.

Из литературных данных известно [4], что в процессе вулканизации ПСО диоксидами металлов развиваются процессы циклизации, особенно заметные при использовании диоксида свинца. Согласно этим данным образующиеся циклические соединения способны играть роль пластификатора и образовывать золь-полимер. Судя по полученным нами данным можно полагать, что при использовании диоксида свинца в виде вулканизующей пасты процесс циклообразования затрудняется, при этом формируется сетка с достаточно высокой плотностью цепей. Это должно приводить к связыванию циклических структур в общей системе формирующейся сетки [5]. Следовательно, и для данных вулканизатов специфика их получения будет, в основном, определять их структуру, что также должно оказывать влияние на область наблюдаемых температурных переходов в ширине линии ЯМР.

Таким образом, корреляция ТСЯ с параметрами сетки наблюдается при использовании бихромата натрия и диоксидов свинца и марганца, если при использовании последних создаются условия формирования однородной редкосетчатой структуры. Введение пластификаторов, если эти вулканизующие агенты применяются в виде промышленных паст, существенно улучшает условия для формирования полимерной сетки. Поэтому при сравнительно небольшом содержании пластификатора ($n=1,0-3,0$) значения ТСЯ закономерно смещаются в область более высоких температур в соответствии с повышением плотности цепей сетки.

При введении пластификаторов (в случае использования MnO_2 и PbO_2 в виде вулканизующих паст) существенно улучшаются предпосылки образования более плотной полимерной сетки. В этом случае лишь при сравнительно небольшом содержании пластификатора значения ТСЯ также закономерно смещаются в область высоких температур в соответствии с повышением плотности цепей вулканизационной сетки. В то же время характер зависимости между ТСЯ и $V_{эфф}$ и $V_{хим}$ или отсутствие определенной корреляции между ними могут служить критерием для оценки относительной однородности молекулярных сеток вулканизатов ПСО и наличия достаточно сильных специфических взаимодействий в системе.

Список литературы

1. Слоним И.Я., Любимов А.Н. ЯМР в полимерах М: Наука, 1966. – 300 с.
2. Минкин В.С. ЯМР в промышленных полисульфидных олигомерах К.: Абак, 1997. – 222 с.
3. Маклаков А.И., Пименов Г.Г. Температура снижения линии ядерного магнитного резонанса и связь ее с температурой стеклования полимеров // Высокомолекулярные соединения, сер.А, т.15, №1, 1973, с. 107-111.
4. Насонова Т.П., Шляхтер Р.А., Новоселок Ф.Б., Зевакин И.Е. Синтез и физико-химия полимеров // «Наукова думка», №11, 1973, с. 60-63.
5. Минкин В.С., Дебердеев Р.Я., Палютин Ф.М., Хакимуллин Ю.Н. Промышленные полисульфидные олигомеры: синтез, вулканизация, модификация. К.: Новое знание, 2004. – 175 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

Н.А. Ляпин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Кафедра информационно-управляющих комплексов ЛА,
Москва, lyapin2010@yandex.ru

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАРАНТИРУЮЩЕГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ
БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ
В ОПЕРАЦИИ ПЕРЕХВАТА ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ**

Получен алгоритм гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика на этапе его вывода в зону применения авиационных средств поражения. Представлены результаты моделирования, отражающие степень влияния маневренных возможностей беспилотного летательного аппарата на достижение им позиционного преимущества при различных вариантах расположения авиационных средств поражения на противоборствующих летательных аппаратах.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, гарантирующее управление, авиационное средство поражения, эффективность.*

Введение

В настоящее время общемировой тенденцией является активное использование комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) для решения разнообразных целевых задач. [1]. Тем не менее, создание БЛА для задач перехвата воздушных целей рассматривается специалистами в качестве одной из перспективных областей применения беспилотной авиации. Кроме этого, отсутствие летчика на борту атакующего БЛА увеличивает его динамические возможности (диапазон допустимых перегрузок и скоростей) за счет управления аэродинамическими силами [2,3].

Для России одним из самых перспективных проектов стал проект создания БЛА-перехватчика, реализуемый в настоящее время АО «РСК МиГ». Проект предполагает создание БЛА-перехватчика, выполненного на основе аэродинамической схемы «летающее крыло». Характерная особенность данной схемы – достижимое на определенных режимах полета высокое (10-12) аэродинамическое качество. [4].

Основная боевая задача системы наведения истребительной авиации – поражение воздушных целей – выполняется в несколько этапов, в течение которых решаются более частные задачи:

1. Полет в район цели;
2. Вывод истребителя в зону применения оружия;
3. Применение оружия;
4. Выход из атаки.

Наиболее сложным с точки зрения управления является этап вывода БЛА в зону применения авиационных средств поражения (АСП). Основная задача на этом этапе – обеспечение такого положения атакующего БЛА относительно цели, при котором достигается максимальная эффективность используемого вооружения [5].

В данной статье будет рассмотрена оценка влияния АСП на эффективность разработанного алгоритма [6-7].

В статье [6], продолжающей работу авторов, описана математическая постановка задачи гарантирующего управления траекторией БЛА в операции перехвата воздушной цели, основанная на описании конфликтующих самолетов в пространстве относительных координат. Это позволило использовать известную структуру гарантирующего управления для класса линейных динамических систем, оптимизируемых по квадратичному критерию [8].

Оценка позиционного преимущества, приобретаемого атакующим БЛА-перехватчиком для различных вариантов расположения АСП

Для оценки работоспособности предложенного алгоритма проведено имитационное моделирование, целью которого является оценка того позиционного преимущества, которое приобретает БЛА-перехватчик с учетом его маневренных возможностей и АСП, находящихся на нем. В качестве прототипа БЛА-перехватчика рассмотрен перспективный аппарат [4].

В процессе моделирования вектор $\mathbf{C}(0)$, который задает относительное начальное состояние БЛА и цели на момент начала сближения, выбирался случайным образом в

пределах заданной области $\mathbf{W}_C = \{\mathbf{C}(0) : |C_i(0)| \leq C_{i\max}(0), i = \overline{1,6}\}$. В качестве значений

$C_{i\max}(0), i = \overline{1,3}$, характеризующих относительное положение БЛА-перехватчика и цели соответственно по координатам X, Y, Z стартовой системы координат, учитывая требования информационного контакта, принималась максимальная дальность захвата цели бортовой РЛС:

$$\begin{aligned} C_{1\max}(0) &= 20 \text{ км}; & C_{4\max}(0) &= 900 \text{ км/ч} \\ C_{2\max}(0) &= 7,5 \text{ км}; & C_{5\max}(0) &= 300 \text{ км/ч} \\ C_{3\max}(0) &= 2,5 \text{ км} & C_{6\max}(0) &= 100 \text{ км/ч} \end{aligned}$$

Компоненты $C_{i\max}(0), i = \overline{4,6}$, определяют максимально-допустимые скорости сближения БЛА-перехватчика и цели.

В работе оценивалось влияние АСП на эффективность полученного бортового алгоритма управления БЛА для следующего случая их расположения (АСП БЛА-перехватчика – АСП противника):

Авиационная управляемая ракета класса «воздух-воздух» с тепловой головкой самонаведения (ГСН) - авиационная управляемая ракета класса «воздух-воздух» с полуактивной радиолокационной ГСН.

$$\mathbf{C}^1 = \begin{pmatrix} 4900 \text{ м} \\ 1500 \text{ м} \\ 250 \text{ м} \\ 69,44 \text{ м/с} \\ 11,11 \text{ м/с} \\ 1,39 \text{ м/с} \end{pmatrix} \quad \mathbf{C}^2 = \begin{pmatrix} 5250 \text{ м} \\ 1750 \text{ м} \\ 250 \text{ м} \\ 41,67 \text{ м/с} \\ 12,5 \text{ м/с} \\ 3,47 \text{ м/с} \end{pmatrix}$$

Эффективность гарантирующего управления оценивалась по тому тактическому преимуществу, которое приобретает БЛА-перехватчик после завершения его вывода в зону применения АСП. Для этого в момент завершения процесса сближения T рассчитывались расстояния $d_1(T), d_2(T)$, характеризующие в пространстве нормированных относительных координат близость каждого из конфликтующих самолетов до соответствующей ему «идеальной» точки, перемещение в которую обеспечивает ему тактическое преимущество с точки зрения последующего применения средств поражения.

$$\begin{aligned} d_1(T) &= (\tilde{\mathbf{C}}(T) - \tilde{\mathbf{C}}^1)^T \mathbf{G}^1 (\tilde{\mathbf{C}}(T) - \tilde{\mathbf{C}}^1) \\ d_2(T) &= (\tilde{\mathbf{C}}(T) - \tilde{\mathbf{C}}^2)^T \mathbf{G}^2 (\tilde{\mathbf{C}}(T) - \tilde{\mathbf{C}}^2) \end{aligned} \quad (1)$$

В соответствии с (1) неравенство $d_1(T) < d_2(T)$ указывает на то, что БЛА-перехватчик на момент завершения процесса сближения приобрел тактическое преимущество с точки зрения последующей атаки цели.

Маневренные возможности БЛА-перехватчика оценивались по следующим тактически значимым показателям [9], рассчитанным в стартовой системе координат:

1. приемистость, характеризующая оперативность разгона БЛА до необходимой скорости; влияние проявляется через величину осевого ускорения aX ;
2. скороподъемность, определяющая маневренность БЛА в вертикальной плоскости; влияние проявляется через величину нормального ускорения aY ;
3. поворотливость, отражающая способность БЛА выполнять горизонтальные маневры; влияние проявляется через величину бокового ускорения aZ .

В целях исследования влияния АСП на достижение позиционного преимущества в условиях воздушного боя проведена серия вычислительных экспериментов, включающая моделирование 150 траекторий движения противников, соответствующих различным случайно выбираемым начальным состояниям $\mathbf{C}(0) \in W_C$. Ограничения на управления БЛА-перехватчика задавались в виде $|U_i| \leq U_{i\max}$, $i = \overline{1,3}$, где $U_{1\max} = 2g$, $U_{2\max} = 4g$, $U_{3\max} = g$, g – ускорение свободного падения.

В процессе маневрирования противоборствующие БЛА использовали оптимальные законы управления, исходя из оптимальной продолжительности процесса сближения T^* определяемой условиями существования седловой точки [8]. Для оценки маневренных возможностей атакуемого БЛА на приобретаемое им позиционное преимущество варьировалось отношение $U_{i\max}/V_{i\max} = k$, $i = \overline{1,3}$ $k = 0.5; 0.75; 1; 1.25; 1.5$.

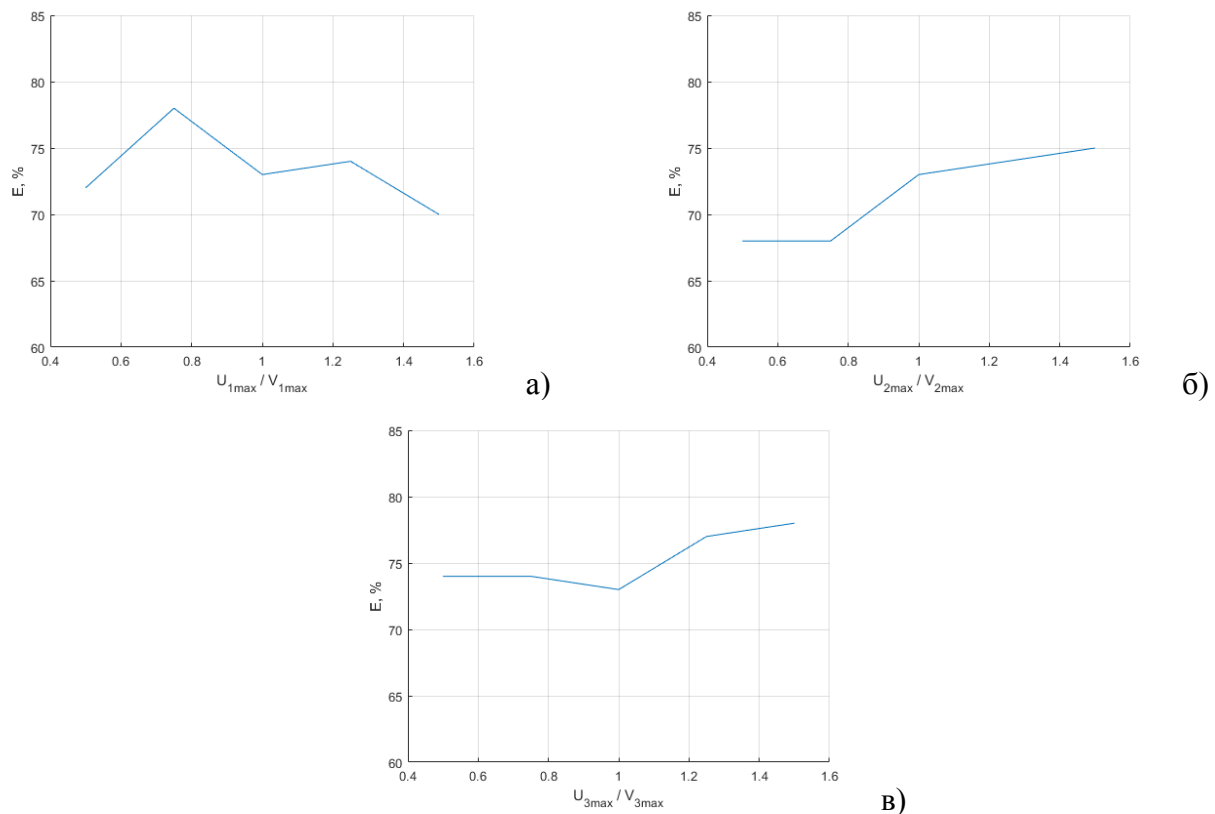


Рис. 1 - Графики влияния приемистости (а), скороподъемности (б) и поворотливости (в) собственного БЛА по сравнению с БЛА противника на достигаемое им позиционное преимущество

На рис. 1 продемонстрированы графики влияния приемистости (1, а), скороподъемности (1, б) и поворотливости (1, в) собственного БЛА по сравнению с самолетом противника на достигаемое им позиционное преимущество. Как следует из рис. 1, в среднем в 73% реализаций собственный БЛА получает тактическое преимущество.

Заключение

Проведена серия вычислительных экспериментов, результаты которых позволяют утверждать, что использование разработанного алгоритма управления траекторией БЛА-перехватчика обеспечивает его тактическое преимущество для последующей атаки с использованием АСП.

Список литературы

1. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н., Оркин С.Д. Управление смешанными группами пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов в условиях единого информационно-управляющего поля. М.: Изд-во МАИ, 2015. 272 с.
2. Белоцерковский С.М., Кочетков Ю.А., Красовский А.А., Новицкий В.В. Введение в аэроавтоупругость. М.: Наука, 1980.
3. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития. М.: Радиотехника, 2008.
4. Проект «Исследования для создания авиационного комплекса дальнего перехвата крылатых ракет» [Электронный ресурс] // ГУНИД Минобороны РФ. URL: <https://dfnc.ru/yandexs-novosti/proekt-issledovaniya-v-obespechenie-sozdaniya-aviatsionnogo-kompleksa-dalnego-perehvata-krylatyh-raket-v-interesah-povysheniya-effektivnosti-protivodejstviya-massirovannomu-udaru-dozvukovymi-krylatymi/>
5. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн. Кн. 2. Робототехнические комплексы на основе БЛА /Под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. М.: Радиотехника. 2016.
6. Евдокименков В.Н., Ляпин Н.А. Минимаксная оптимизация маневров преследования противника в условиях ближнего воздушного боя // Труды МАИ: электрон. журнал. 2019. Вып. 106. 26 с.
7. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н., Ляпин Н.А. Гарантирующее управление траекторией беспилотного летательного аппарата при сближении с маневрирующей воздушной целью // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2018. № 5. С. 40 – 53. doi: 10.31857/S000233880002851-5
8. Бухалев В.А. Основы автоматики и теории управления. Учебник для слушателей и курсантов ВУЗов ВВС. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006.
9. Краткие теоретические сведения, необходимые для сравнения маневренных возможностей истребителей [Электронный ресурс]. 37 с. URL: [http://aviation-gb7.ru/ Compare.files/Su27_F15.pdf](http://aviation-gb7.ru/Compare.files/Su27_F15.pdf)

05.13.01

**С.В. Маков канд. техн. наук, И.И. Наумов канд. техн. наук,
Д.Ю. Чернышов, И.О. Гринев, А.Ю. Минаев**

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ,
факультет техники и технологии,
кафедра радиоэлектронные и электротехнические системы и комплексы,
Шахты, dimcher@inbox.ru

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ГЛАСНЫХ ЗВУКОВ В ЗАШУМЛЁННОЙ РЕЧИ

В работе рассматривается модификация метода автоматизированного выделения гласных звуков в зашумлённой речи. Приводится описание алгоритма предлагаемой модификации, а также результаты проведённого эксперимента.

Ключевые слова: обработка аудиоинформации, обработка речи, зашумленная речь, выделение гласных, гласные звуки.

Введение

Важной задачей при обработке речевой аудиоинформации является задача обнаружения и автоматизированного выделения гласных звуков из речевой последовательности. Методы детектирования гласных находят своё применение, в телекоммуникациях, медицине [1], безопасности [2] и в других сферах.

Одним из современных подходов в исследовании и обработке голосовой информации является использование искусственных нейронных сетей [3]. Общим для применения нейронных сетей, являются дополнительные затраты времени и ресурсов на обучение нейронной сети. Кроме того, конкретные виды нейронных сетей сильно зависят от наличия достаточной обучающей выборки и корректности её разметки.

Другим направлением в сфере обработки речевых сигналов является работа с параметрами речи, которые можно получить расчётным путём. В работе [4] рассматривается выделение гласного звука с помощью трёх параметров речевого сигнала. Основным недостатком подобных методов является низкая точность определения гласных звуков в зашумлённых участках речи.

Предлагаемый метод

В данной работе предлагается модификация метода, описанного в работе [4]. Основной особенностью данной модификации является повышение точности определения гласных звуков в зашумлённых участках речевого сигнала. Для выделения гласных звуков необходимо определить вокализованные участки речи. Выделение вокализованных участков осуществляется по следующему алгоритму:

1) Пусть входной звуковой сигнал представлен в виде вектора $\mathbf{s}(n) = [s(0), s(1), \dots, s(L-1)]$.

На каждой итерации работы алгоритма происходит выделение окна $S_{win_i}(n)$, размер которого соответствует 16 мс во временной области, со сдвигом 16 мс (256 отсчетов с частотой дискретизации 16 кГц):

$$S_{win_i}(n) = [s(i \cdot N_{step}), s(i \cdot N_{step} + 1), \dots, s(i \cdot N_{step} + N_{win})], \quad (1)$$

где i – номер итерации, $i = 0, 1, \dots, \frac{L - N_{win}}{N_{step}}$; N_{step} – шаг сдвига: $N_{step} = \frac{T_{step}}{F_d}$;

$N_{win} = \frac{T_{win}}{F_d}$ – размер окна; T_{win} – длительность окна, составляющая 16 мс; T_{step} – время сдвига, составляющее 16 мс; F_d – частота дискретизации звукового сигнала; L – количество отсчетов звуковым сигналом $\mathbf{s}(n)$; n – номер отсчета.

2) Для сигнала в окне вычисляется спектр, с помощью быстрого 1024 точечного преобразования Фурье (БПФ).

3) Сигнал проходит через полосовой фильтр, который отсекает все спектральные составляющие, соответствующие частотам ниже 500 Гц и выше 2500 Гц. Данные значения получены экспериментально в ходе исследований, представленных в работе [5].

4) Спектр ранжируется по амплитуде значения сигнала $S_i(k), k=0, \dots, \frac{N_{fft}}{2}$, так что $S_{(1)} > S_{(2)} > \dots > S_{(M)}$

5) Далее выбирается и суммируется десять максимальных значений ранжированного ряда $S_{(m)}$, и записываются в вектор A , для каждой i -ой итерации. Таким образом формируется сигнал с шагом дискретизации 16 мс., соответствующий интенсивности речевого сигнала.

6) Из-за наличия в сигнале шума, в интенсивности речевого сигнала могут появляться ложные максимумы. Для их устранения рассматриваются три соседних значения интенсивности речевого сигнала. В том случае, когда центральное значение превосходит два крайних, то для центрального значения применяется метод интерполяции по формуле:

$$B_{i-1} = B_{i-2} + \frac{A_i - B_{i-2}}{2}, \quad (2)$$

где B – вектор сумма гармоник после фильтрации.

7) Далее осуществляется фильтрация вектора B по методу скользящего среднего. Значения сигнала после фильтрации записываются в вектор D :

$$D_i = \frac{\sum_{q=0}^Q B_{i-q}}{Q}, \quad (3)$$

где Q – размер окна фильтрации по методу скользящего среднего.

8) Определяется пороговое значение P , необходимое для определения участка содержащего гласный звук и выполнения нормировки. Пороговое значение P на i -ой итерации определяется как:

$$P_i = K(P_{\max_i} - P_{\min_i}), \quad (4)$$

где K – весовой коэффициент; $P_{\max_i}$ – максимальное значение суммы гармоник; $P_{\min_i}$ – минимальное значение суммы гармоник.

$P_{\max_i}$ и $P_{\min_i}$ определяются следующим образом:

$$P_{\max_i} = \begin{cases} D_i, & \text{если } \frac{D_i}{2} < P_{\max_i} < D_i \\ \frac{D_i}{Z}, & \text{если } P_{\max_i} \leq \frac{D_i}{2} \\ e^{-\tau} P_{\max_{i-1}}, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (5)$$

$$P_{\min_i} = \begin{cases} D_i, & \text{если } P_{\max_i} < D_i \\ \left(1 - e^{\left(-\frac{1}{\tau}\right)}\right) \cdot D_i & \text{если } P_{\min_i} > D_i \end{cases}, \quad (6)$$

где Z – масштабный коэффициент; τ – коэффициент уменьшения/увеличения порогового значения.

9) Определение области слога осуществляется следующим образом:

Первое значение вектора D принимается за локальный минимум. Далее осуществляется поиск локального максимума $D_{\max}$:

$$D_{\max} = D_{i-1}, \text{ если } D_{i-2} < D_{i-1} > D_i, \quad (7)$$

Модуль разницы значений локального максимума и локального минимума сравнивается с пороговым значением. В том случае, если условие (7) выполняется, производится нормировка по формуле:

Далее производится поиск следующего локального минимума:

$$D_{\min} = D_{i-1}, \text{ если } D_{i-2} > D_{i-1} < D_i, \quad (8)$$

и в случае выполнения условия (8) осуществляется нормировка. В случае не выполнения условия (8) в вектор нормированных значений записываются предыдущие состояния вектора.

10) По найденным значениям массива Dn происходит определение участков гласных звуков. Для этого участки нарастания и спуска значений в районе пиковых значений массива Dn проверяются по условию:

$$Dn_i > K_{rise}, \text{ при } Dn_i - Dn_{i-1} > 0, \quad (9)$$

или

$$Dn_i < K_{fall}, \text{ при } Dn_i - Dn_{i-1} < 0, \quad (10)$$

где K_{rise} и K_{fall} - пороговые значения для нарастания и спуска соответственно. На основе экспериментальных данных было получено следующее значение $K_{rise} = K_{fall} = 0,1$.

11) Звуковой сигнал смещается на величину N_{step} и происходит возврат к пункту 1.

Результаты экспериментальной проверки

Для проверки эффективности предложенного метода были проведены испытания на серии аудиозаписей, взятых из реальных интервью, содержащих зашумленную (аддитивный шум) речь мужчин и женщин с различным темпом речи.

Для оценки точности определения гласных для всех тестовых записей была выписана транскрипция и подсчитано количество слогов. Точность определялась как отношение модуля разницы количества слогов, полученного из транскрипции и предложенным методом к количеству слогов по транскрипции. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка качества определения гласных в зашумлённой речи

№ файла	Слогов в транскрипции	Слогов полученных изначальным методом	Точность определения, %	Слогов полученных предложенным методом	Точность определения, %
1	51	60	82,4	53	96,1
2	84	100	81,1	82	97,6
3	135	76	56,3	115	85,2
4	102	59	57,8	86	84,3
5	184	142	77,2	167	90,8
6	225	160	71,1	210	93,3
7	179	198	89,4	164	91,6
8	22	30	63,6	24	90,9
9	195	149	76,4	130	66,7
10	60	64	93,3	59	98,3
11	46	50	91,3	37	80,4
Средневзвешенная точность по всем файлам:			75,44		86,02

Полученные результаты показывают, что при использовании предложенного метода средневзвешенная точность по всем тестовым файлам увеличена на 10,58%. На точность определения гласных влияют следующие факторы: особенность произношения тех или иных слов, так как зачастую окончание слова может проглатываться; участки речи, на которых окончание одного и начало второго слова приходится на гласную; наличие предлогов «в», «к», «с» и т.д., так как при их произношении, вместе с согласным появляется гласный звук (вокализованный согласный звук).

Список литературы

1. *Вашкевич М.И.* Выделение признаков неврологических заболеваний из речевого сигнала //20-я Международная конференция " Цифровая обработка сигналов и ее применение". – 2018. – С. 179-184.
2. *Машкина И.В., Белова Е.П.* Разработка нейросетевой базы данных биометрических образов на основе нескольких параметров спектров гласных звуков для системы аутентификации и авторизации по голосу //Безопасность информационных технологий. – 2019. – Т. 26. – №. 3. – С. 90-102.
3. *Yadav J., Rao K.S.* Neural network and GMM based feature mappings for consonant–vowel recognition in emotional environment //International Journal of Speech Technology. – 2018. – Т. 21. – №. 3. – С. 421-433.
4. *Prasanna S. R. M., Reddy B. V. S., Krishnamoorthy P.* Vowel onset point detection using source, spectral peaks, and modulation spectrum energies//IEEE Transactions on audio, speech, and language processing. – 2009. – Т. 17. – №. 4. – С. 556-565.
5. *Kumar A., Shahnawazuddin S., Pradhan G.* Detection of Vowel Offset Points Using Non-Local Similarity Between Speech Samples //2018 International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM). – IEEE, 2018. – С. 252-256

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)**

05.13.06

К.Н. Гавариева, Л.А. Симонова д-р техн. наук, В.В. Абрамова канд. физ.-мат. наук

Набережночелнинский институт КФУ,
отделение информационных технологий и энергетических систем,
кафедра автоматизации и управления,
gavarievakn@mail.ru, lasimonova@mail.ru, vervikab@yandex.ru

**НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ
ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС
НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА**

В статье рассматривается применение многоагентной системы в совокупности с нечеткой логикой для управления технологическим процессом прецизионной штамповки. Многоагентный подход состоит в представлении компонентов моделируемой системы в виде отдельных, относительно независимых объектов — интеллектуальных агентов, каждый из которых имеет свои цели и задачи. Нечеткая логика позволяет контролировать процесс в условиях неопределенности, которыми характеризуется прецизионная штамповка.

Ключевые слова: нечеткая логика, многоагентная система, система управления, горячая объемная штамповка.

На сегодняшний день система автоматизированного управления динамическими технологическими процессами, к которым относится прецизионная штамповка представляют собой трудно формализуемые системы, функционирующие в условиях неопределенности, неполноты знаний и нечеткости описаний как самой системы, так и действующих на нее сигналов. Для управления подобными системами уже недостаточно применения классических методов теории управления и поэтому необходима разработка новых методов и подходов. Одним из таких подходов является многоагентная система (МАС) в совокупности с нечеткой логикой.

Многоагентные системы представляют собой один из наиболее сложных видов интеллектуальной надстройки. Связано это с правильным организационным структурированием МАС, которое обеспечивает координацию интеллектуальных агентов через определение ролей, каналов связи и полномочий с целью обеспечения их согласованного поведения [1].

Большое внимание уделяется методам представления знаний с помощью нечеткой логики. В основе нечёткой логики лежит теория нечетких множеств, в которых каждый элемент характеризуется функцией принадлежности, т. е. учитывается степень принадлежности элемента нечеткому множеству. Нечеткими множествами можно характеризовать степень неопределенности, связанную с принятием решений в интеллектуальных системах, в том числе многоагентных.

Для применения многоагентной системы, использующей преимущества нечеткой логики, необходимо разработать архитектурные модели интеллектуальных агентов [2, 3].

Единая многоагентная система на основе нечеткой логики процесса прецизионной штамповки зубчатых конических колес представлена на рисунке 1.

В представленной системе весь спектр задач технологического процесса по определенным правилам распределен между агентами МАС.

Агенты- исполнители воспринимают свою среду с помощью датчиков [3]. Информацию о состоянии технологического процесса агенты-исполнители передают агенту-координатору. Агент- координатор производит сбор данных от агентов-исполнителей, интеграцию частных результатов, и результат, полученный через блок нечеткого вывода из базы знаний в виде продукционных правил, посылает агентам- исполнителям, которые будут исполнять данную задачу.

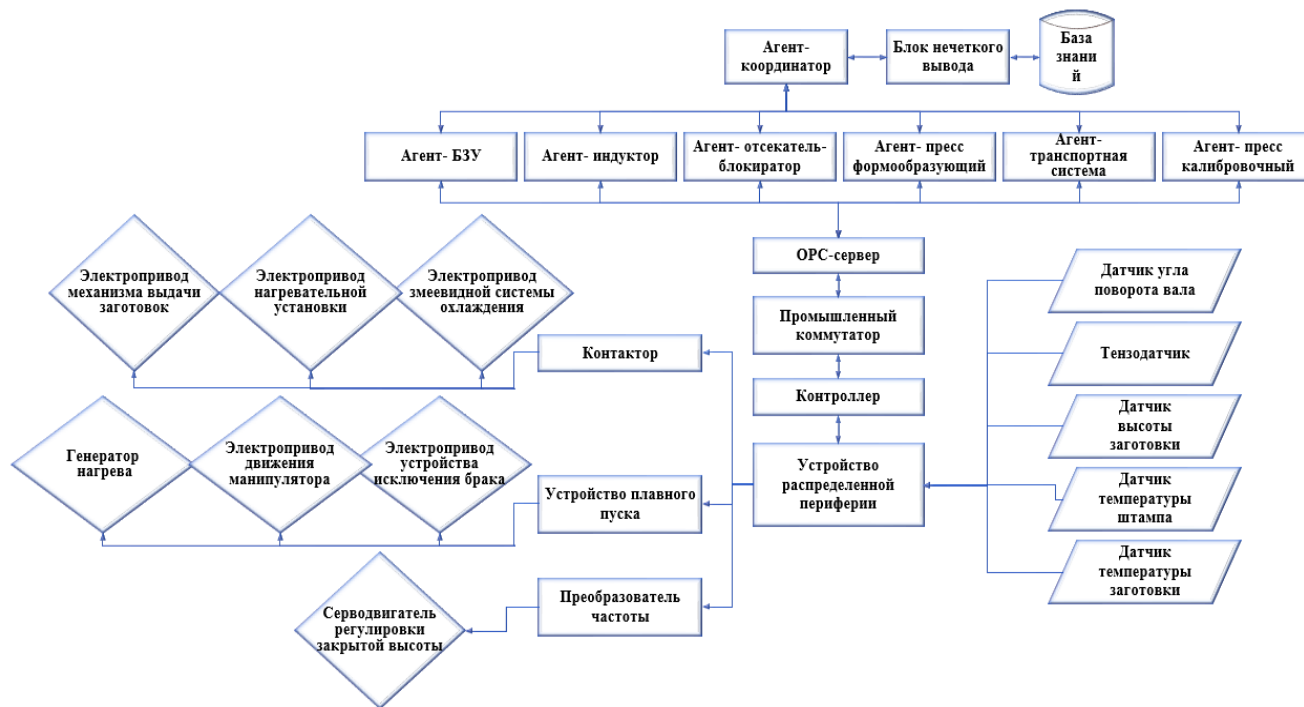


Рис. 1 - Структура МАС на основе нечеткой логики для процесса прецизионной штамповки зубчатых конических колес

На примере агентов, связанных с процессом горячей объемной штамповки представлена взаимосвязь агента- координатора и агентов-исполнителей. По запросу агент-координатора срабатывает блок нечеткого вывода для выдачи правила из базы знаний. При этом агент-координатор разбивает задачу корректировки технологического процесса между агентом-индуктор, агентом-пресс формообразующий и агентом-отсекатель-блокиратор, посылая сообщения агенту-индуктор с требованием произвести регулировку нагрева тэна индуктора, агенту-пресс формообразующий с требованием отрегулировать температуру штамповой оснастки с помощью змеевика или горелки, а агенту-отсекатель-блокиратор блокировать либо отсечь поковки в тару.

Гибридизация МАС с нечеткой логикой существенно повысит эффективность работы таких МАС. Системы нечеткой логики хорошо объясняют выводы, но имеют ограничения на количество входных переменных [4]. Вследствие этого необходимо построение гибридных МАС, в которых выводы формируются на основе нечеткой логики.

С целью представления функционирования предлагаемой интеллектуальной системы введем лингвистические переменные «Температура заготовки» и «Температура штампа», для которых сформируем базовые терм-множества. Лингвистическая переменная «Температура заготовки» определяется тремя множествами: 850 -1050 °С -"Низкая", 1030-1160 °С - "Оптимальная", 1150- 1270°С "Высокая". Лингвистическая переменная - «Температура штампа» определяется аналогично множествами: 180 - 201°С -"Низкая", 200-251 °С - "Оптимальная", 250 -300°С "Высокая" [5,6]

Для характеристики лингвистических переменных («Температура заготовки» и «Температура штампа») выбирается треугольная функция принадлежности, которая определяется тройкой чисел (a,b,c), где параметры a и c характеризуют начало и конец соответствующего нечеткого множества, а параметр b — середину данного множества. Значение функции принадлежности в точке x вычисляется согласно формуле [7]:

$$\mu_A(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq c \leq x \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

Для лингвистической переменной «Температура заготовки» определяем функции принадлежности:

$$\begin{aligned} \text{"низкая"} \mu_A(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 850 \\ \frac{x-850}{950-850}, & 850 \leq x \leq 950 \\ \frac{1050-x}{1050-950}, & 950 \leq 1050 \leq x \\ 0, & 1050 \leq x \end{cases} \\ \text{"оптимальная"} \mu_A(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 1030 \\ \frac{x-1030}{1095-1030}, & 1030 \leq x \leq 1095 \\ \frac{1160-x}{1160-1095}, & 1095 \leq 1160 \leq x \\ 0, & 1160 \leq x \end{cases} \\ \text{"высокая"} \mu_A(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 1150 \\ \frac{x-1150}{1210-1150}, & 1150 \leq x \leq 1210 \\ \frac{1270-x}{1270-1210}, & 1210 \leq 1270 \leq x \\ 0, & 1270 \leq x \end{cases} \end{aligned}$$

Аналогично определяем функции принадлежности для лингвистической переменной «Температура штампа»:

$$\begin{aligned} \text{"низкая"} \mu_A(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 180 \\ \frac{x-180}{190-180}, & 180 \leq x \leq 190 \\ \frac{201-x}{201-190}, & 190 \leq 201 \leq x \\ 0, & 201 \leq x \end{cases} \\ \text{"оптимальная"} \mu_A(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 200 \\ \frac{x-200}{225-200}, & 200 \leq x \leq 225 \\ \frac{251-x}{251-225}, & 225 \leq 251 \leq x \\ 0, & 251 \leq x \end{cases} \end{aligned}$$

$$\text{"высокая"} \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 250 \\ \frac{x-250}{275-250}, & 250 \leq x \leq 275 \\ \frac{300-x}{300-275}, & 275 \leq 300 \leq x \\ 0, & 300 \leq x \end{cases}$$

Продукционные правила базы знаний формируются на основе полученных лингвистических переменных [8].

Пример применения нечетких правил для процесса прецизионной штамповки можно представить следующим образом:

- ЕСЛИ температура штампа «низкая» И температура заготовки «низкая», ТО увеличить температуру нагрева тэна индуктора И подогреть штамповую оснастку горелкой И отсечь бракованную поковку в тару.

- ЕСЛИ температура штампа «низкая» И температура заготовки «оптимальная», ТО подогреть штамповую оснастку горелкой.

- ЕСЛИ температура штампа «оптимальная» и температура заготовки «оптимальная», ТО продолжить процесс без корректировки.

Переход от нечетких лингвистических переменных к четким переменным производится с помощью операции дефазификации и осуществляется методом центра тяжести [8].

Формирование и реализация модели управления параметрами технологического процесса прецизионной штамповки на основе нечеткой логики может быть выполнено в среде Matlab&Simulink при помощи расширения Fuzzy Logic Toolbox.

Таким образом, описанная модель многоагентной системы на основе нечеткой логики, позволяет более объективно учесть специфику технологического процесса прецизионной штамповки. Гибридная МАС выделяет именно те задачи, которые с наибольшей эффективностью и в ограниченные промежутки времени приведут к выполнению поставленных целей при интеллектуальном управлении процессом прецизионной штамповки в условиях неопределенности.

Список литературы

1. Macal C., North M. Agent-based modeling and simulation for exascale computing. – SciDAC Review, Summer 2008. – P. 34–41.
2. Корячко В.П., Бакулева М.А, Орешков В.И. Интеллектуальные системы и нечеткая логика: учебник /. - М.: КУРС, 2017. - 352 с. - ISBN 978-5-906923-39-4. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/882796>
3. Макаров И.М., Лохин И.М., Манко С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. – С. 214-217.
4. Морозов В.К., Рогачев Г.Н. Моделирование информационных и динамических систем. – М.: Академия, 2011. – С. 127-129.
5. Симонова Л.А. Разработка базы знаний для системы нечеткого логического вывода процесса прецизионной штамповки. /Симонова Л.А., Гавариева К.Н. //Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 1. С. 62-64.
6. Gavarieva K.N Control of technological parameters of precision stamping process based on fuzzy logic/ Gavarieva K., Simonova L.//В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018 2018. С. 8501762.
7. Zadeh L.A. Fuzzy Logic = Computing With Words// IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 1996. – Vol. 4. – P. 103–111.
8. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences. – 1975. – Vol.8, N 8. – P. 199–249, P. 301–357.

05.13.06

**М.П. Данилаев д-р техн. наук, Н.В. Дорогов,
В.А. Куклин канд. физ.-мат. наук, Е.А. Бобина**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева-КАИ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ УДАЛЕНИЯ НАЛЕДИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Приведены результаты экспериментальных исследований подтверждающих эффективность интегральной противообледенительной системы в режиме удаления наледи. Предложена методика определения циклограмм включения и выключения нагревательного элемента. Показано, что эффективность работы такой системы на ~20% выше по сравнению с существующими электротепловыми ПОС.

Ключевые слова: интегральная противообледенительная система, управление нагревательным элементом.

Развитие беспилотных летательных аппаратов (ЛА) большой продолжительности полета требует, в том числе, разработки энергоэффективной противообледенительной системы (ПОС). Использование именно энергоэффективных ПОС обусловлено недостаточной энерговооруженностью таких ЛА, по сравнению с пилотируемыми ЛА. Одними из перспективных ПОС, удовлетворяющих данному требованию, являются электротепловые интегральные противообледенительные системы (ИПОС) [1,2]. Интегральная ПОС состоит из пассивной части – гидрофобного покрытия, например покрытия на основе фторопласта [1] или кремнийорганического лака с гидрофобными группами [2], и активной части – электронагревательные элементы, встроенные в элементы конструкции ЛА [1-3]. Использование в качестве нагревательных элементов токопроводящего гидрофобного покрытия позволяет повысить энергоэффективность за счет того, что обогрев включается только при возникновении наледи, скорость образования которой низкая по причине гидрофобности покрытия [4,5]. Как правило, циклограммы включения и выключения нагревательным элементом определяются экспериментально и зависят, в том числе, от профиля защищаемого элемента конструкции ЛА, материала нагревательного элемента и их количества [5]. Экспериментальные исследования показали, что для определения циклограмм управления нагревательными элементами возможно использовать датчики температуры, расположенные на передней кромке защищаемого элемента ЛА. В работе [2] отмечено, что после образования сплошной наледи на передней кромке, с расположенными на ней датчиками температуры, показания температуры с них выравнивалось. Это возможно использовать для записи циклограмм управления нагревательными элементами.

Целью данной работ является создание и экспериментальная проверка электронной системы управления нагревательным элементом интегральной ПОС, выполненного из проводящего фторопласта марки Ф-4 CSC 1.2.

Для уточнения требований к электронике управления нагревательным элементом (НЭ) ИПОС проводилась теоретическая оценка требуемой удельной тепловой мощности ИПОС для случая предотвращения образования льда на элементе конструкции ЛА. Такая оценка проводилась на основе термодинамического расчета, включающего в себя расчет количества тепла, которое компенсирует все тепловые потери и обеспечивает при данной конструкции, нулевую или положительную температуру защищаемого элемента ЛА. С учетом ограничений, представленных в работе [6], уравнение теплового баланса нагретой поверхности, покрытой пленкой воды, при неизменных внешних условиях:

$$q = q_1 + q_2, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока, который надо подвести к защищаемой поверхности, чтобы обеспечить ее нагревание до требуемой температуры; q_1 – конвективный тепловой поток; q_2 – поток тепла для нагревания переохлажденной пленки воды или слоя льда до требуемой температуры. Следует отметить, что при образовании пленки воды между поверхностью гидрофобного нагревательного элемента и образовавшейся наледи, набегающий воздушный поток «сбрасывает» наледь за счет гидрофобности поверхности при меньших скоростях по сравнению с типовыми электротепловыми ПОС [7]. Поэтому, в отличие от работ [1-3], в которой рассматривался режим предотвращения образования наледи, в выражении (1) не учитывается поток тепла необходимый для испарения воды или льда с поверхности.

Конвективный тепловой поток рассчитывался по формуле [8]:

$$q_1 = \alpha \cdot (t_{\text{п}} - t_1), \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, [Вт/м² град], $t_{\text{п}}$ – температура поверхности обшивки, [град], t_1 – температура на внешней границе пограничного слоя, [град].

Поток тепла (удельная мощность обогрева ПОС) для нагревания переохлажденной пленки воды и слоя льда до температуры поверхности рассчитывался по формуле [9]:

$$q_2 = m((t_{\text{п}} - t_1) \cdot ((1 - n) \cdot C_{\text{воды}} + n \cdot C_{\text{льда}}) + n \cdot \lambda_{\text{льда}}), \quad (3)$$

где m – количество улавливаемой воды аэродинамической поверхностью в единицу времени, [кг/м² с], n – количество переохлажденной воды, превращенной в лед, $C_{\text{воды}}$ – теплоемкость воды, [Дж/кг град], $C_{\text{льда}}$ – теплоемкость льда, [Дж/кг град], $\lambda_{\text{льда}}$ – удельная теплота плавления льда, [Дж/кг].

Теоретические расчеты требуемой тепловой мощности ПОС для типичных профилей элемента конструкции ВМ «Дань» М и скорости полета от 0,1М до 0,3М проводились в диапазоне условий длительного обледенения, соответствующих авиационным правилам эксплуатации ЛА (таблица 1); $t_{\text{п}}$ – температура поверхности обшивки принималась равной 10С.

Таблица 1- Диапазон условий длительного обледенения.

Температура наружного воздуха t_1 , оС	0	-10	-20	-30
Водность, г/м ³	0,8 – 0,6	0,6 – 0,45	0,3 – 0,2	0,2 – 0,15
Среднеарифметический диаметр капель, мкм	20	20	20	20
Горизонтальная протяженность зоны обледенения, км	32-200			
Предельная высота, км	0 – 5	0 – 6,5	0 – 8	0 – 9,5

Зависимость удельной мощности обогрева типовой электротепловой ПОС и ИПОС от скорости полета представлена на рисунке 1. На рисунке 1 приняты следующие обозначения: кривые (1-4).1 приведены для интегральной противообледенительной системы, а (1-4).2 – для типовой электротепловой ПОС для температуры воздушного потока 0оС, -10 оС, -20 оС, -30 оС соответственно.

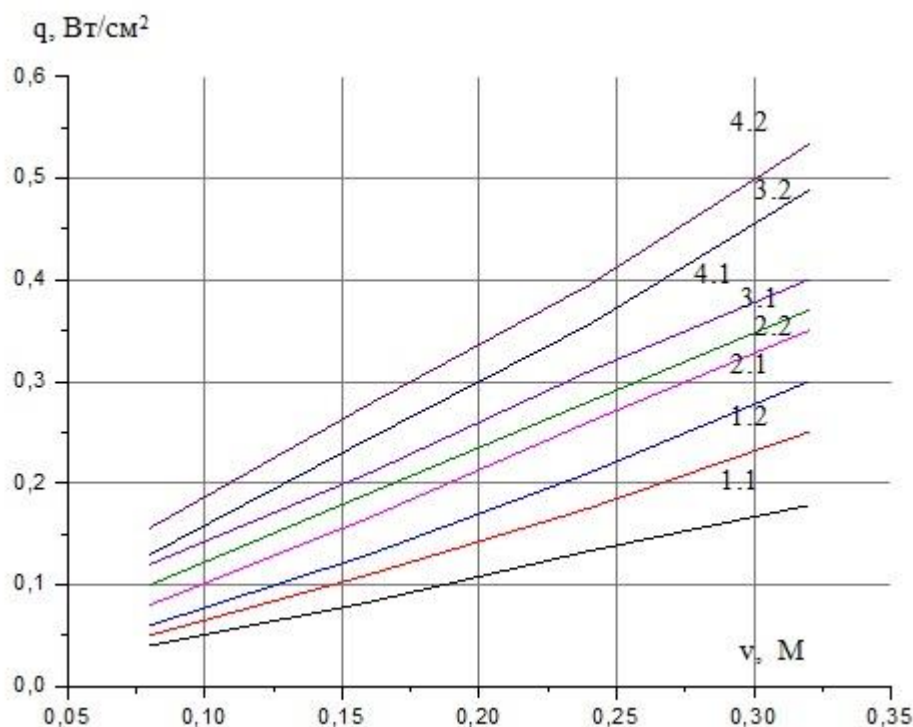


Рис. 1- Зависимость удельной мощности (q) обогрева ПОС от скорости (v) полета

Из рисунка видно, что, согласно теоретическим оценкам, в режиме удаления наледи на элементах конструкции ЛА, при скважности импульсов нагрева 2, необходимо обеспечить удельную мощность обогрева в диапазоне $0,01 \div 0,4$ Вт/см² для ИПОС, и $0,15 \div 0,55$ Вт/см² для типовой электротепловой ПОС. Уточнить количественные оценки значения удельного энергопотребления ИПОС возможно только после проведения испытаний образцов ИПОС на стенде в условиях близких к обледенению.

Экспериментальные исследования были проведены на стенде, описанном в работах [1-3] при температуре окружающей среды $\sim (-3 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. В качестве НЭ использовался фторопласт марки Ф-4 CSC1.2 (про-во Италия) длиной $\sim 23 \pm 0,5$ см и шириной $4 \pm 0,2$ см, удельное сопротивление $104 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Структурная схема блока питания фрагмента ПОС представлена на рис.2.

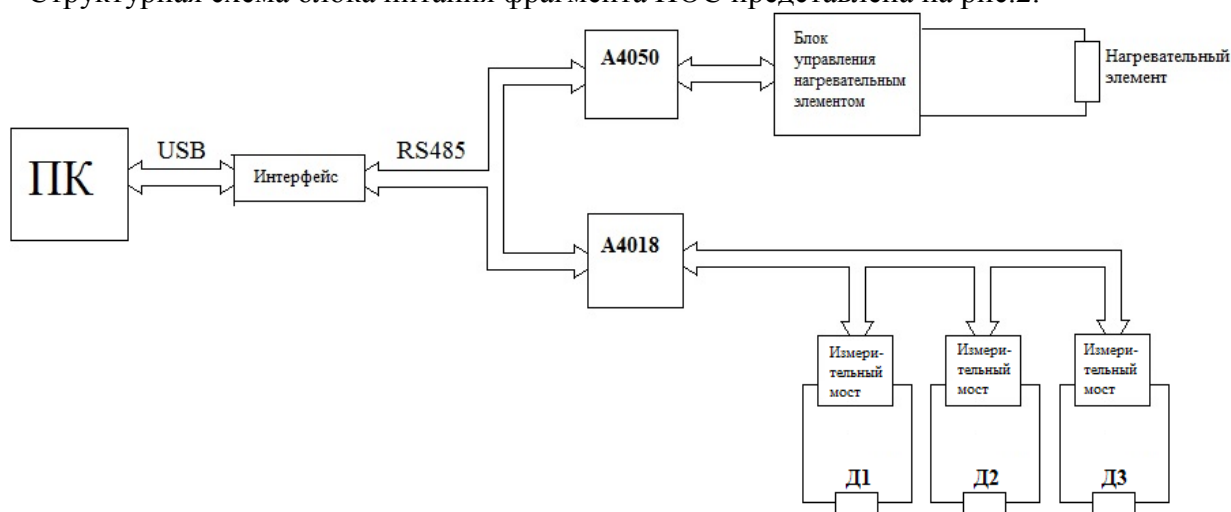


Рис. 2- Структурная схема стенда [9].

Используемый в стенде аналоговый модуль Adam4018 осуществляет сбор информации по 3 независимым каналам, что позволяет контролировать температуру в двух точках (рис.2)

на поверхности профиля и температуру набегающего потока. Достижение требуемой точности измерения температуры осуществляется за счет использования в качестве термочувствительных элементов терморезисторов HEL-712, включенных по мостовой схеме. Использование мостовой схемы включения позволило значительно снизить влияния внешних помех на АЦП модуля и одновременно обеспечить согласование входов АЦП с терморезисторами. Канал измерения температуры обеспечивает точность измерения температуры в пределах $\pm 0.1^\circ\text{C}$ в пределах заданного температурного диапазона.

Питание нагревательных элементов осуществлялось от источника постоянного тока мощностью 0,5 кВт. Коммутация источника постоянного тока на нагрузку (нагревательные элементы) проводилась посредством реле, управление которым осуществлялось с помощью микроконтроллера Atmega 8. Сигнал управления снимали с датчика температуры, расположенного на поверхности нагревательного элемента. При появлении наледи на поверхности нагревательного элемента при его работе в пассивном режиме (нагрев не осуществляется) показания датчика температуры возрастали [2]. Это являлось сигналом для включения нагрева НЭ. Таким образом, циклограмма не записывалась в память процессора, как это делается в большинстве случаев управления НЭ существующих электротепловых ПОС, а формировалась по сигналу управления с датчика температуры. Обработка сигнала с датчика температуры с учетом шумов и флуктуаций, а также скорости и температуры набегающего воздушного потока, осуществлялась в микроконтроллере. Для регистрации мощности, потребляемой нагревательными элементами, использовали амперметр и вольтметр 1-го класса точности.

Типовая циклограмма управления нагревательным элементом представлена на рисунке 3 при подводимой к НЭ средней электрической мощности 0.85 Вт и скважности $S=1.5$.

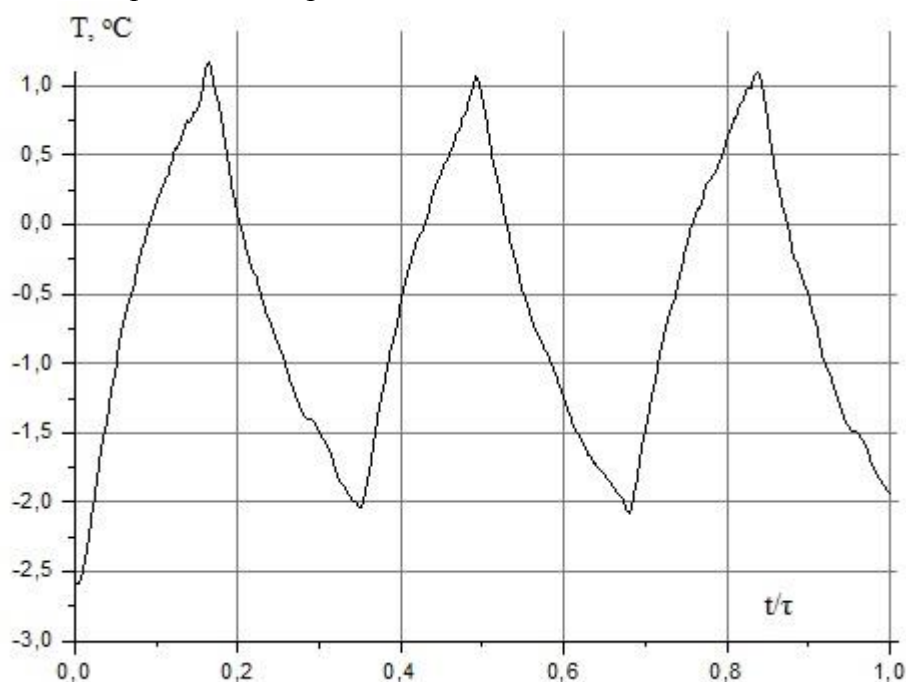


Рис. 3- Типовая циклограмма включения и выключения нагревательным элементом ($\tau=500$ с)

Экспериментальные результаты управления НЭ ИПОС, представлены в таблице 2, где S – скважности импульсов нагрева НЭ ИПОС, $W_{уд}$ – удельная средняя мощность обогрева (Вт/см^2).

Таблица 2- Экспериментальные результаты управления НЭ ИПОС

$W_{уд}$	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$7.5 \cdot 10^{-3}$	$8.2 \cdot 10^{-3}$	$9.2 \cdot 10^{-3}$	$11 \cdot 10^{-3}$
S	5.2	4.3	3.2	2.3	1.5

Экспериментальные исследования показали, что для случая сильного обледенения в условиях проведения эксперимента (интенсивность обледенения 0.5 ± 0.1 мм/мин, водность $\sim 0.5 \pm 0.1$ г/м³, скорость двухфазного потока ~ 0.1 М) при удельной мощности обогрева 0.1 Вт/см² для полного удаления льда с кромки защищаемой поверхности время нагрева составило $\sim 50 \pm 10$ с. Следует отметить, что скажность зависит от допустимой толщины льда и аэродинамического профиля. Экспериментальные результаты соответствуют сделанным теоретическим оценкам.

Сопоставительные данные с эффективностью типовых электротепловых ПОС показывают, что, использование ИПОС с системой управления нагревательным элементом позволяет снизить энергозатраты на борьбу с обледенением по сравнению с существующими электротепловыми ПОС ~ 20 , и рекомендовать интегральную противообледенительную систему к применению в малой и сверхмалой авиации, в том числе и беспилотных ЛА.

Работа выполнена при поддержке гранта российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ № 18-48-160024).

Список литературы

1. Богослов Е.А., Данилаев М.П., Михайлов С.А., Польский Ю.Е. Энергетическая эффективность интегральной противообледенительной системы на основе фторопластовых пленок // Инженерно-физический журнал. - 2016.- Т.89. №4. С.812-817
2. Danilaev M.P., Bogoslov E.A., Dorogov N.V., Klabukov M.A., Bobina E.A. // Icing intensity of passive organosilicon anti-icing coatings russian aeronautics. 2019. т. 62. № 1. с. 129-133.
3. Данилаев М.П., Дорогов Н.В., Богослов Е.А., Гурьев В.И. Экспериментальный стенд по отработке управления интегральной электротепловой противообледенительной системой летательного аппарата // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 59-61.
4. Arianpour, F., et al., Hydrophobic and ice-retarding properties of doped silicone rubber coatings. Applied Surface Science. - 2013.- 265: 546-552.
5. Гринац Э.С., Миллер А.Б., Потапов Ю.Ф., Стасенко А.Л. Экспериментальные и теоретические исследования процессов обледенения наномодифицированных супергидрофобных и обычных поверхностей. // Вестник МГОУ. Сер. «Физика - Математика». 2013.- № 3. С.84-92.
6. Shinkafi A., Lawson C. Enhanced Method of Conceptual Sizing of Aircraft Electro-Thermal De-icing System // International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering. 2014. V.8, № 6. P. 1069-1076.
7. Brouwers E.W., Palacios J.L., Smith E.C., Peterson A.A. The experimental investigation of a rotor hover icing model with shedding// American Helicopter Society 66th Annual Forum, Phoenix, AZ, May 11-13, 2010.
8. Григорьев Б.А., Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: Учеб. пособие /: МЭИ, 2005. 550 с.
9. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 2001. 550 с.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)**

05.13.11

В.Д. Петелина канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО НИУ «Московский Государственный Строительный Университет»,
Институт Фундаментального Образования,
кафедра прикладной математики,
Москва, verapetelina51@gmail.com

**РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТОЧЕК**

Статья посвящена представлению возмущений первого порядка в прямоугольных координатах, составляющих регуляризированной скорости и времени движения исследуемого тела в виде многочленов по степеням некоторой регуляризирующей переменной, проведен анализ расположения и характера особых точек, доказана возможность представления координат и составляющих скорости движения в виде многочленов. Основной результат статьи – построение методики определения возмущений первого порядка в виде конечных многочленов. Такое представление прямоугольных координат, составляющих регуляризированной скорости удалось получить вследствие ряда последовательных замен независимой переменной.

Ключевые слова: система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.

Одной из основных задач, связанных с траекторными измерениями является приближение прямоугольных координат, составляющих скорости исследуемого тела алгебраическими многочленами низкой степени относительно вспомогательной переменной с наперед заданной степенью точности. Общие принципы построения теории возмущений в координатах рассмотрены в статье [1]. Различные варианты универсальных переменных таких, как S_k и β были рассмотрены в статье [2], намечены пути использования универсальных переменных в ряде задач механики, в частности для определения возмущений методом вариации произвольных постоянных. В работах [3-5] введены вспомогательные переменные S_k в виде степенных рядов относительно переменной β , рассмотрены вопросы использования регуляризирующих переменных при вычислении пассивных траекторий перелета. При разработке метода вычисления возмущений в координатах применялся метод малого параметра, позволяющий получить асимптотические разложения решения в окрестности исходной точки. Целью работы является приближение прямоугольных координат, составляющих скорости исследуемого тела и времени на пассивном участке конечными многочленами относительно регуляризирующей переменной с заданной степенью точности. Регуляризация проводится с целью упрощения правых частей системы дифференциальных уравнений движения исследуемого тела и аналитических свойств решения.

В статье [6] были получены прямоугольные координаты x, y , составляющие регуляризированной скорости x', y' время t в первом приближении в следующем виде

$$\begin{aligned}x &= \frac{A_1}{w} + R_x(w) \cdot \ln w + R_{x1}(w) + \varepsilon(R_{x1}, n^*) \\y &= \frac{A_2}{w} + R_y(w) \cdot \ln w + R_{y1}(w) + \varepsilon(R_{y1}, n^*) \\x' &= \frac{A_3}{w} + R_{x'}(w) \cdot \ln w + R_{x'1}(w) + \varepsilon(R_{x'1}, n^*) \\y' &= \frac{A_4}{w} + R_{y'}(w) \cdot \ln w + R_{y'1}(w) + \varepsilon(R_{y'1}, n^*), \\t &= \frac{A_5}{w} + R_t(w) \cdot \ln w + R_{t1}(w) + \varepsilon(R_{t1}, n^*),\end{aligned}\tag{1}$$

где $R_x, R_{x1}, R_y, R_{y1}, R_{x'}, R_{x'1}, R_{y'}, R_{y'1}, R_t, R_{t1}$ - многочлены по степеням регуляризующей переменной w . Докажем, что в прямоугольных координатах и времени возмущенного движения тела (1) отсутствуют члены вида $\frac{1}{w}$.

Фундаментальная матрица частных решений уравнений в вариациях регуляризованных уравнений задачи 2-х тел имеет вид:

$$D = \begin{pmatrix} q_1^{(1)} & \cdot & \cdot & q_1^{(7)} \\ q_2^{(1)} & \cdot & \cdot & q_2^{(7)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ q_7^{(1)} & \cdot & \cdot & q_7^{(7)} \end{pmatrix}\tag{2}$$

Возмущения 1-го порядка во вспомогательных величинах C_i определяются следующим образом [6]

$$C_i = \int_2^w \left(\frac{D_{4i}}{D} \cdot X + \frac{D_{5i}}{D} \cdot Y + \frac{D_{6i}}{D} \cdot Z \right) \cdot dw\tag{3}$$

где X, Y, Z - составляющие возмущающего ускорения из-за притяжения исследуемого тела возмущающим телом,

$$\begin{aligned}X &= \frac{b_{-2}}{w^2} + \frac{b_{-1}}{w} + P_{1n}(w) + \varepsilon(P_{1n}, n) \\Y &= \frac{e_{-2}}{w^2} + \frac{e_{-1}}{w} + P_{2n}(w) + \varepsilon(P_{2n}, n) \\Z &= \frac{f_{-2}}{w^2} + \frac{f_{-1}}{w} + P_{3n}(w) + \varepsilon(P_{3n}, n),\end{aligned}\tag{4}$$

$P_{1n}(w), P_{2n}(w), P_{3n}(w)$ - многочлены по степеням регуляризующей переменной w некоторой степени n , $\varepsilon(P_{1n}, n), \varepsilon(P_{2n}, n), \varepsilon(P_{3n}, n)$ - погрешности соответствующих приближений, которые можно сделать сколь угодно малыми при большом n , D_{4i} - алгебраическое дополнение элемента, стоящего в 4-ой строке и i -ом столбце матрицы (2), D_{5i}, D_{6i} - введены аналогично, D - определитель матрицы (2). Подставляя выражения (4), (3) в выражения для прямоугольных координат и времени, приведенных в статье [6], получим:

$$\begin{aligned}
x &= x_0 + \sum_{l=1}^7 q_l^{(l)} \cdot \int_2^w \left[\frac{D_{4l}}{D} \cdot \left(\frac{b_{-2}}{w^2} + \frac{b_{-1}}{w} + P_{1n}(w) + \varepsilon(P_{1n}, n) \right) + \right. \\
&+ \frac{D_{5l}}{D} \cdot \left(\frac{e_{-2}}{w^2} + \frac{e_{-1}}{w} + P_{2n}(w) + \varepsilon(P_{2n}, n) \right) + \left. \frac{D_{6l}}{D} \cdot \left(\frac{f_{-2}}{w^2} + \frac{f_{-1}}{w} + P_{3n}(w) + \varepsilon(P_{3n}, n) \right) \right] \cdot dw = \\
&= x_0 + \sum_{l=1}^7 q_l^{(l)} \cdot \int_2^w \left(\frac{D_{4l}}{D} \cdot b_{-2} + \frac{D_{5l}}{D} \cdot e_{-2} + \frac{D_{6l}}{D} \cdot f_{-2} \right) \cdot \frac{1}{w^2} \cdot dw + R_{0,x}(w) \cdot \ln w + \\
&+ R_{1,x}(w) + \varepsilon(R_{0,x}; R_{1,x}) = x_0 - \frac{1}{w} \cdot (b_{-2} \cdot \sum_{l=1}^7 q_l^{(l)} \cdot \frac{D_{4l}}{D} + e_{-2} \cdot \sum_{l=1}^7 q_l^{(l)} \cdot \frac{D_{5l}}{D} + \\
&+ f_{-2} \cdot \sum_{l=1}^7 q_l^{(l)} \cdot \frac{D_{6l}}{D}) + \tilde{R}_{0,x}(w) \cdot \ln w + \tilde{R}_{1,x}(w) + \varepsilon(\tilde{R}_{0,x}; \tilde{R}_{1,x}),
\end{aligned} \tag{5}$$

где $R_{0,x}(w), R_{1,x}(w), \tilde{R}_{0,x}(w), \tilde{R}_{1,x}(w)$ - многочлены по степеням регуляризующей переменной w , $\varepsilon(R_{0,x}; R_{1,x}), \varepsilon(\tilde{R}_{0,x}; \tilde{R}_{1,x})$ - погрешности представления координаты x в виде суммы $\tilde{R}_{0,x}(w) \cdot \ln w$ и многочлена по степеням w . Аналогично будет для y, z, t . Таким

образом, коэффициент при члене $\frac{1}{w}$ в выражении (5) будет равен нулю, т.к. он равен сумме произведений элементов 1-ой строки определителя матрицы (2) на алгебраические дополнения других строк, что и требовалось доказать.

Если в качестве первого приближения рассматривать траекторию близкого прохождения от возмущающего тела, то составляющие возмущающего ускорения X, Y, Z имеют комплексно-сопряженные особые точки $w = \alpha \pm i\beta$. Составляющие X, Y, Z имеют следующий вид [6]

$$X = \frac{R_n(w)}{[(\alpha - w)^2 + \beta^2]^{3/2}} \tag{6}$$

где $R_n(w)$ - некоторый многочлен относительно регуляризующей переменной w степени n . Аналогичные выражения имеют составляющие Y и Z . Для определения возмущений первого порядка в прямоугольных координатах и составляющих регуляризированной скорости движения исследуемого тела необходимо взять интеграл от функций (6). Введем новую независимую регуляризующую переменную v таким образом, чтобы представить координаты, составляющие скорости и время в первом приближении для траекторий близкого прохождения от возмущающего тела в виде многочленов по степеням этой переменной

$$w = \alpha + \beta \cdot shv, \quad dw = \beta \cdot chv \cdot dv \tag{7}$$

Проведя указанную замену независимой переменной w получим, что искомый интеграл от функции (6) имеет вид:

$$\int \frac{R_n(shv)}{\beta^2 \cdot ch^2 v} \cdot dv, \tag{8}$$

где $R_n(shv)$ - многочлен по степеням shv .

Интеграл (8) имеет следующую структуру

$$\frac{1}{\beta^2} \cdot \int \frac{R_n(shv)}{ch^2 v} \cdot dv = l_0 \cdot v + \frac{l_1}{chv} + l_2 \cdot thv + \tilde{Q}(shv, chv), \tag{9}$$

где l_0, l_1, l_2 - некоторые коэффициенты, $\tilde{Q}(shv, chv)$ - многочлен по степеням chv .

Покажем, что это действительно так. Представим многочлен $R_n(shv)$ в следующем виде

$$R_n(shv) = a_0 + shv \cdot R_1(ch^2v) + ch^2v \cdot R_2(ch^2v), \quad (10)$$

т.е. из многочлена $R_1(ch^2v)$ для нечетных степеней shv вынесем множитель shv , из многочлена $R_2(ch^2v)$ для четных степеней shv вынесем множитель ch^2v . Интегрируя, получим:

$$\begin{aligned} \int \frac{shv \cdot R_1(ch^2v)}{ch^2v} \cdot dv &= \int \frac{B_0}{ch^2v} + B_2 + B_4 \cdot ch^2v + \dots \cdot d(chv) = \\ &= -\frac{B_0}{chv} + B_2 \cdot chv + \frac{B_4 \cdot ch^3v}{3} + \dots + C_1, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \int R_2(ch^2v) \cdot dv &= \int \left(\frac{A_0}{ch^2v} + A_2 + A_4 \cdot ch^2v + \dots \right) \cdot dv = \\ &= A_0 \cdot thv + A_2 \cdot v + A_4 \cdot sh2v + \dots + C_2; \end{aligned} \quad (12)$$

Особые точки $w = \alpha \pm i\beta$, являющиеся точками разветвления, эквивалентны тем значениям независимой регуляризирующей переменной v , при которых $chv = 0$, $shv = \pm i$, а именно

$$v = i \cdot \left(\frac{\pi}{2} + k \cdot \pi \right), k = 0, 1, 2, \dots \quad (13)$$

Рассмотрим интеграл от функции (6) вблизи особой точки $w = \alpha + i\beta$.

Введем новую независимую переменную λ следующим образом:

$$\lambda = w - (\alpha + i\beta) \quad (14)$$

Используя соотношение (7), перепишем выражение для chv в следующем виде:

$$chv = \sqrt{(1 + sh^2v)} = \frac{\sqrt{((w - \alpha)^2 + \beta^2)}}{\beta} \quad (15)$$

Из соотношения (14) имеем:

$$w - \alpha = \lambda + i\beta \quad (16)$$

Подставим выражение (16) в выражение (15), в результате получим:

$$chv = \frac{\sqrt{\lambda}}{\beta} \cdot \sqrt{(2i\beta + \lambda)} \quad (17)$$

Выражение для chv можно представить в виде следующего разложения

$$chv = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\beta}} \sqrt{2i} + \frac{\sqrt{\lambda}}{\beta} \frac{1}{2} (2i\beta)^{-\frac{1}{2}} \cdot \lambda + \frac{\frac{1}{2} \cdot (-\frac{1}{2})}{2!} \cdot (2i\beta)^{-\frac{3}{2}} \lambda^2 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{\beta^2}} + \dots \quad (18)$$

Особая точка $\lambda = 0$ является точкой разветвления.

Составляющие возмущающего ускорения X, Y, Z в окрестности особой точки $w = \alpha \pm i\beta$ представляются разложениями вида:

$$X = \frac{b_{-\frac{3}{2}}}{\lambda^{\frac{3}{2}}} + \frac{b_{-\frac{1}{2}}}{\lambda^{\frac{1}{2}}} + \lambda^{\frac{1}{2}} \cdot B(\lambda), \quad (19)$$

где $B(\lambda)$ функция не содержащая отрицательных степеней λ т.к. после замены независимой регуляризирующей переменной w на v составляющие возмущающего ускорения имеют вид:

$$X = \frac{R_n(shv)}{ch^3v}, \quad (20)$$

где chv определяется разложением (18). Возмущения во вспомогательных величинах C_i в окрестности особой точки определяются следующим образом

$$C_i = \int_{\lambda_0}^{\lambda} \left(\frac{D_{4i}}{D} \cdot X + \frac{D_{5i}}{D} \cdot Y + \frac{D_{6i}}{D} \cdot Z \right) \cdot d\lambda, \quad (21)$$

($i = 1, \dots, 7$),

где D - определитель фундаментальной матрицы (2) частных решений уравнений в вариациях регуляризированных уравнений задачи 2-х тел.

Представляя $\frac{D_{4i}}{D}, \frac{D_{5i}}{D}, \frac{D_{6i}}{D}$ в виде многочленов по степеням регуляризирующей переменной λ , получим выражение (21) в следующем виде:

$$C_i = \frac{e_{-0.5i}}{\lambda^{0.5}} + T_i(\lambda), \quad (22)$$

($i = 1, \dots, 7$),

где $T_i \lambda$ функция, не содержащая отрицательных степеней λ ,

$e_{-0.5i}$ - некоторые коэффициенты.

Таким образом в окрестности особой точки $w = \alpha \pm i\beta$ координаты и время возмущенного движения исследуемого тела представляются функциями, которые не имеют отрицательных степеней λ .

Определим значение полинома $R_n(w)$ в особой точке $w = \alpha \pm i\beta$. Подставляя в выражение (13) значения $shv = \pm i, chv = 0$, получим:

$$R_n(shv = \pm i) = a_0 + i \cdot R_1(0) = a_0 + ib_0 = \delta_1, \quad (23)$$

где δ_1 - некоторое комплексное число.

Составляющие возмущающего ускорения X, Y, Z с учетом выражения (10) представимы в виде разложений в окрестности точек $shv = \pm i, chv = 0$ в виде:

$$X = \frac{a_0}{ch^2 v} + \frac{b_0 \cdot shv}{ch^2 v} + \tilde{R}(chv), \quad (24)$$

где $\tilde{R}(chv)$ - многочлен по степеням chv . Представим отношения $\frac{D_{4i}}{D}, \frac{D_{5i}}{D}, \frac{D_{6i}}{D}$ в виде многочленов по степеням shv :

$$\frac{D_{4i}}{D}(shv) = c_0 + d_0 \cdot shv + ch^2 v \cdot \tilde{T}(shv, chv), \quad (25)$$

где $\tilde{T}(shv, chv)$ - функция, не содержащая отрицательных степеней chv . Определим

значение многочлена $\frac{D_{4i}}{D}$ в точках v , в которых $shv = \pm i, chv = 0$.

Проведем аналогию между выражениями (19) и (24). Из сравнения имеем, что коэффициент $\frac{b_{-3}}{2} = a_0 + ib_0$.

Возмущения во вспомогательных переменных C_i будут иметь следующий вид

$$C_i = \int \left(\frac{D_{4i}}{D} \cdot X + \frac{D_{5i}}{D} \cdot Y + \frac{D_{6i}}{D} \cdot Z \right) dv \quad (26)$$

Подставляя выражения (24) и (25) в выражения (26) имеем

$$C_i = a_{1i} \cdot thv + a_{2i} \cdot \frac{1}{chv} + a_{3i} \cdot v + \tilde{R}_i(shv, chv), \quad (27)$$

($i = 1, \dots, 7$),

где $\tilde{R}_i(shv, chv)$ - функция, не содержащая отрицательных степеней chv , a_{1i}, a_{2i}, a_{3i} - некоторые коэффициенты.

Распространяя приведенное выше доказательство для окрестности особых точек на общий случай - для любых точек комплексной плоскости v имеем, что координаты, составляющие регуляризированной скорости и время для траекторий близкого прохождения от возмущающего тела представимы многочленами относительно новой регуляризирующей переменной v .

Список литературы

1. Goodyear W.H. A general method of variation of parameters for numerical integration // Astron. J. – 1965. Vol. 70, №5. – P. 524-526.
2. Herrick S. Universal variables // Astron. J. – 1965. Vol. 70, №4. – P. 309-315.
3. Broucke R. Perturbations in rectangular coordinates by iteration // Celest. Mech. – 1969. Vol. 1, №1. – P. 110-129.
4. Szebehely U., Pierce D., Standish S. A group of Earth to Moon trajectories with consecutive collisions // Celest. Mech. and Astrodyn. – 1964. Vol.14. – P. 35-51.
5. Яров-Яровой М.С. Аналитическая теория движения космического корабля к Луне // Труды гос. астроном. инст. им. П. К. Штернберга. – 1967. – Т. 36. – С. 24-160.
6. Petelina V.D. About choosing the form of perturbed body motion differential equations system // IOP Conf. Ser: Mater. Sci. and Eng. – 2018. Vol. 456 – P. 012123.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (05.13.11)

05.13.11

И.С. Замулин канд. физ.-мат. наук, А.А. Голубничий, Н.Д. Артёмова

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники
и автоматизированных систем,
Абакан, zamulin_ivan@mail.ru

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «АБИТУРИЕНТ» ВУЗА ДЛЯ ОНЛАЙН-ЗАПИСИ В ПРИЕМНУЮ КОМИССИЮ

В работе проанализирована принципиальная модель информационной системы приемной комиссии вуза, на примере Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, дано описание существующего модуля автоматизированной информационной системы по работе с абитуриентами, рассмотрена возможность автоматизации процесса записи абитуриентов для принятия документов в приемную комиссию вуза. Произведена реализация и внедрение рассматриваемого модуля в общую информационную систему вуза.

Ключевые слова: *приемная кампания, автоматизированные информационные системы, информационные технологии в организации учебного процесса.*

Введение

Качество и скорость обработки входящих заявлений напрямую влияет на объем принятых заявлений, что, в свою очередь, способствует созданию конкурса среди абитуриентов и высокому показателю результатов приема внутри университета.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что на сегодняшний день на рынке программного обеспечения отсутствует программный продукт, предназначенный для автоматизации записи абитуриентов в приемную комиссию и пригодный для интегрирования в информационную систему вузов, в которых используются собственные автоматизированные информационные системы.

Анализ предметной области и спецификация требований

Автоматизация рабочих процессов приемной комиссии, в частности онлайн-запись абитуриентов для подачи документов, позволит повысить эффективность приемной кампании за счет распределения нагрузки на секретарей приемной комиссии, а также успешного тайм-менеджмента абитуриентов.

В рамках данного исследования процесс автоматизации реализуется на примере информационной системы Хакасского государственного университета. На основе анализа исходных данных предметной области была построена диаграмма компонентов части ИС ХГУ им. Н.Ф. Катанова, касающейся непосредственно работы приемной комиссии. Диаграмма отображена на рисунке 1 и содержит информацию о модулях, программных составляющих, а также связи между ними. Из диаграммы следует, что прием абитуриентов секретарями приемной комиссии ведется в режиме живой очереди, что существенно усложняет прием документов абитуриентов из отдаленных населенных пунктов, а также неравномерно распределяет нагрузку на секретарей приемной комиссии. Из вышеописанного следует, что автоматизация приема абитуриентов повысит эффективность работы приемной комиссии ФГБОУ ВО «ХГУ им. Н.Ф. Катанова» путем внедрения модуля для записи абитуриента на определенное время.

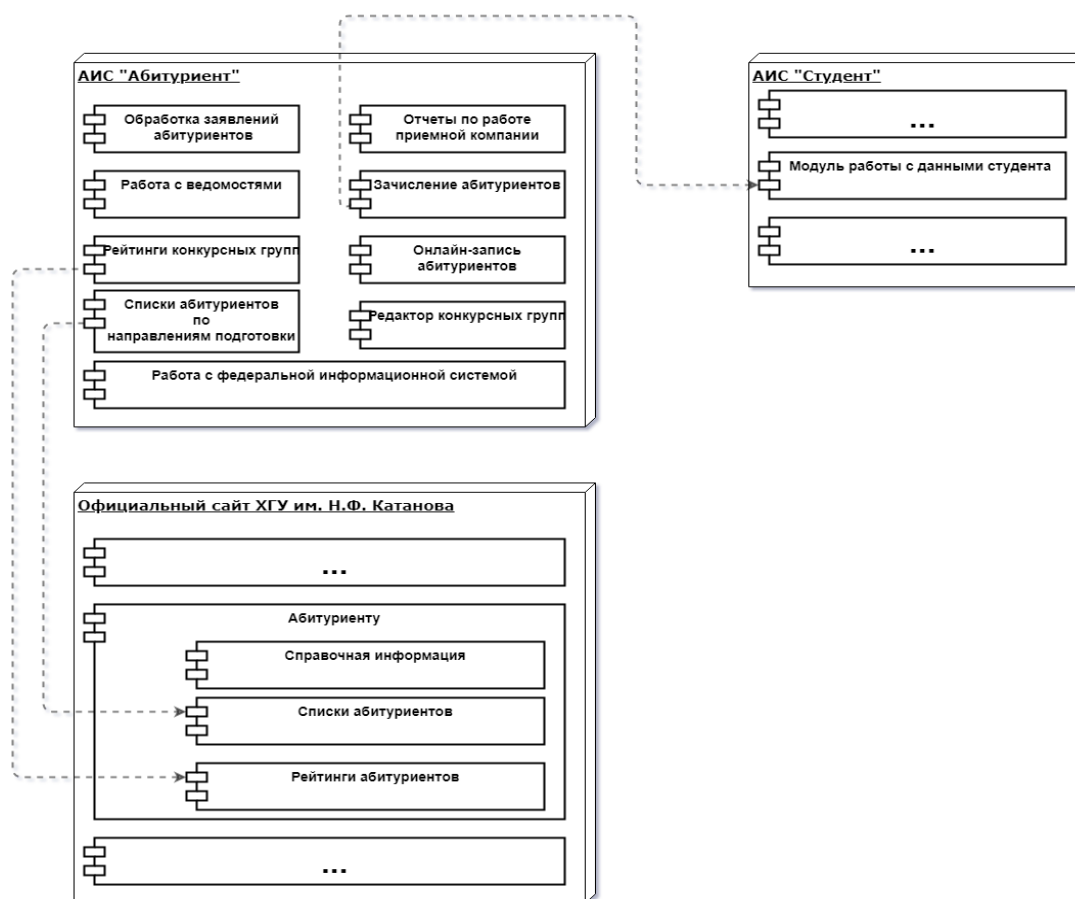


Рис. 1 – Диаграмма компонентов ИС приемной комиссии ХГУ им. Н.Ф. Катанова до внедрения разрабатываемого программного продукта

Увеличения эффективности работы приемной комиссии ФГБОУ ВО «ХГУ им. Н. Ф. Катанова» можно достичь путем разработки модуля АИС «Абитуриент» для онлайн-записи в приемную комиссию вуза. Внедрение нового модуля позволит собрать все рабочие процессы в одну систему для уменьшения трудовых затрат и уменьшения вероятности появления ошибки.

Модуль предназначен для эффективного распределения нагрузки среди секретарей приемной комиссии, поэтому разрабатываемый ПП должен соответствовать следующим требованиям:

- авторизация пользователя при просмотре личных данных,
- формирование списка подходящих абитуриенту конкурсных групп в зависимости от предметов и экзаменационных баллов абитуриента,
- онлайн-запись абитуриента на конкретные дату и время,
- подтверждение записи с демонстрацией корпуса университета на «Яндекс.Карты»,
- идентификация пользователя при помощи сервиса «Google reCAPTCHA 3».

Интерфейс ПП должен обладать свойствами удобства и интуитивной ясности и не требовать дополнительной подготовки пользователей. Таким образом, требования, предъявляемые к программному продукту, основываются на специфике предметной области.

Проектирование и реализация программного продукта

В университете функционирует автоматизированная информационная система «Абитуриент», реализованная по принципу клиент-серверной архитектуры, т.е. работа с ИС возможна только через веб-интерфейс. Все данные находятся в базе данных MS SQL Server 2012, пользовательский интерфейс реализован на основе технологий ASP.NET MVC.

Реализация любого приложения невозможна без предварительной разработки логической структуры и проектирования диаграммы компонентов. Логической структурой приложения принято называть совокупность всех модулей приложения, расположенных с учетом иерархии. Правильная структура приложения повышает практичность и пользу продукта, способствует ускорению индексации страниц, уменьшает количество технических ошибок, распределяет внутренний ссылочный вес, способствует охвату большего количества запросов [1].

Диаграмма компонентов позволяет определить архитектуру разрабатываемой системы, установив зависимости и иерархию между компонентами программы, а пунктирные стрелки, соединяющие модули, показывают отношения взаимозависимости [2].

Проектирование логической структуры невозможно без предварительного описания нормативных документов, влияющих на взаимодействие с программным продуктом. Диаграмма процесса создания модуля к АИС «Абитуриент» для онлайн-записи абитуриентов представлен на рисунке 2.

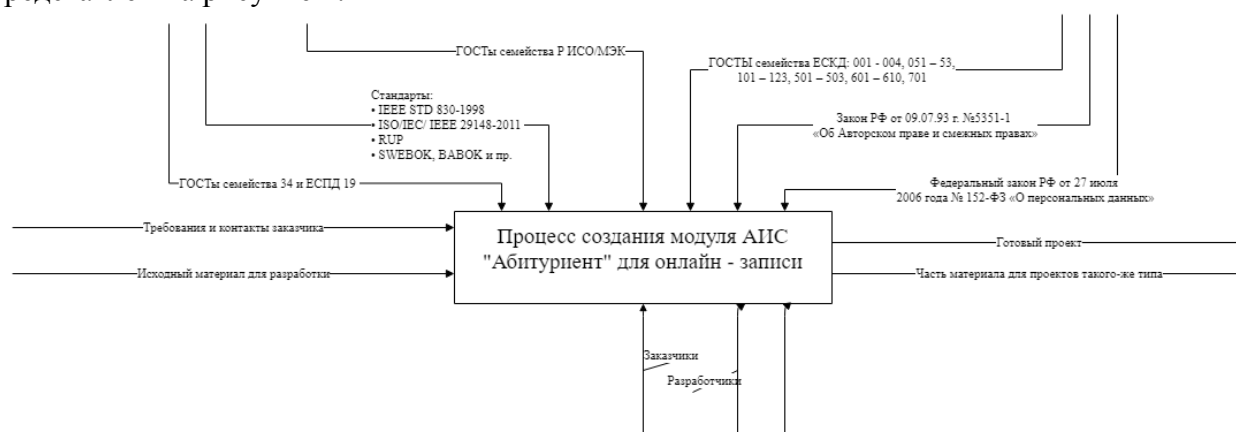


Рис. 2 – Диаграмма процесса создания модуля к АИС «Абитуриент»

Из схемы видно, что входящими условиями при разработке приложения являются требования заказчика и исходный материал для разработки, обычно представленные в виде технического задания. Выходными данными являются готовый проект и часть материалов приложения, пригодных для использования в типовых проектах.

На основе анализа предметной области и диаграммы процесса были выделены основные функциональные модули программного продукта для онлайн-записи абитуриентов в приемную комиссию ХГУ им. Н.Ф. Катанова. Логическая структура модуля АИС «Абитуриент» для онлайн-записи абитуриентов в приемную комиссию представлена на рисунке 3, UML-диаграмма компонентов информационной системы приемной комиссии ХГУ им. Н.Ф. Катанова после внедрения разрабатываемого программного продукта – на рисунке 4.



Рис. 3 – Логическая структура модуля АИС «Абитуриент» для онлайн-записи абитуриентов в приемную комиссию ХГУ им. Н.Ф. Катанова

Модуль «Рейтинг конкурсных групп» запланирован с содержанием подмодуля авторизации абитуриента по паспортным данным и доступным только для абитуриентов, подавших документы на направление подготовки. Рейтинги должны отображать все заявления абитуриента в табличном формате и рейтинги абитуриента по соответствующим направлениям.

В соответствии с п. 1 ч. 1 ст. 3 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» фамилия, имя, отчество поступающего и средний балл его аттестата являются персональными данными [3].

Опубликование рейтинга поступающих возможно только при условии подписания ими заявления о согласии на обработку персональных данных.

При выборе средств программной реализации учитывались технологии реализации уже существующих модулей и программ информационной системы ФГБОУ ВО «ХГУ им. Н.Ф. Катанова» ввиду планируемой поддержки гибкости и сопровождаемости программного продукта.

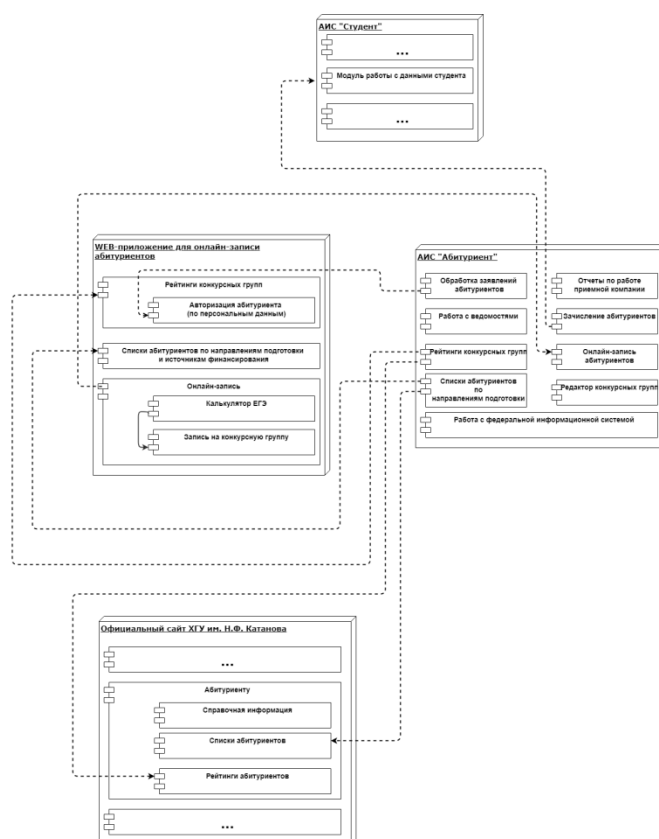


Рис. 4 – UML-диаграмма компонентов ИС приемной комиссии ХГУ им. Н.Ф. Катанова после внедрения разрабатываемого программного продукта

Разработанный программный продукт удовлетворяет всем представленным ранее требованиям и был успешно внедрен в деятельность Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова.

Список литературы

1. Буч Г., Рамбо Дж., Якобсон И. Введение в UML от создателей языка. – М.: ДМК Пресс, 2015 – 496 с.
2. Тидвелл, Дж. Разработка пользовательских интерфейсов. – СПб: Питер, 2011. – 480 с.
3. Кузнецов, А.М. Требования к графическому дизайну и юзабилити образовательных порталов. – М.: Просвещение, 2013. – 420 с.

05.13.11

М.А. Масюк канд. техн. наук, А.А. Попов канд. техн. наук, Е.В. Горшков

Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева,
институт информатики и телекоммуникаций,
кафедра информационно-управляющих систем,
Красноярск, masuk-max@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ ПОДБОРА ПАРОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА COLLECTION #1

В работе представлены подход и созданное для его апробации программное обеспечение, предназначенные для усовершенствования известных методов атак на парольные системы аутентификации, таких как Brute Force и атака по словарю. Подход основан на результатах статистического анализа множества Collection #1. Collection #1 – является одной из крупнейшей за последнее время утечек данных пользователей, содержащей 2,7 миллиарда пар e-mail/пароль, 773 миллиона уникальных e-mail адресов и 21 миллион уникальных паролей. Работа может представлять практический и теоретический интерес для исследователей, занимающихся вопросами криптографии и анализа данных, разработчиков программного обеспечения.

Ключевые слова: *Collection #1, Brute Force, атака по словарю, парольная аутентификация.*

Введение

В январе 2019 года исследователем в области информационной безопасности Троем Хантом (Troy Hunt) была обнаружена, а впоследствии выложена в открытый доступ крупнейшая за всю историю подборка «утекших» в сеть пар e-mail/пароль пользователей со всего мира [1]. Несмотря на последовавшую критику, включающую в себя утверждения, что новой информации в этой подборке не так уж и много, по некоторым данным около 18%, специалисты сходятся во мнении, что данная утечка беспрецедентна по своим масштабам – 2,7 миллиарда пар e-mail/пароль, 773 миллиона уникальных e-mail адресов и 21 миллион уникальных паролей. Множество получило обозначение *Collection #1* и имеет довольно сложную структуру (рис. 1) с общим количеством файлов более 12000 и объемом более 87 Гб.

Авторами был произведен ряд статистических исследований русскоязычной части *Collection #1*, результаты которых представлены в работе, а также предложены основанные на этом анализе новые стратегии атак на парольные системы аутентификации (предмет исследования), результативность которых еще предстоит оценить на практике. Для проведения исследований в части оценки эффективности предлагаемых стратегий было разработано оригинальное программное обеспечение, принцип работы которого представлен в статье.

Анализ российских и зарубежных источников предсказуемо показал наличие достаточно большого количества публикаций, посвященных различным подходам, направленным на повышение эффективности атак на системы парольной аутентификации, которые можно обобщить в следующие категории:

1. Применение масок или шаблонов, определяющих распространенные закономерности, такие как одинаковые символы в определенных позициях пароля, расположение определенных символов и цифр в начале или конце и др. Методики данной категории являются наиболее проработанными с практической точки зрения, разработаны специальный язык для задания структуры пароля – Password Definition Language и различные варианты программного обеспечения [2], [3].

2. Объединение словарей паролей по различным принципам (гибридные и комбинаторные атаки), идентификационные атаки (Fingerprint Attack), предполагающие «мутации» паролей из словарей, перестановочные атаки. Одним из самых мощных и известных инструментов является проект Hashcat [4].

3. Применение цепей Маркова для подбора пароля [5], [6].

4. Использование различных элементов искусственного интеллекта, таких как генеративно-состязательные сети (проект PassGAN, [7]) и нейронные сети [8].

Предлагаемый авторами подход, основанный на закономерностях, выявленных в результате анализа Collection #1, является оригинальным и не имеет аналогов.

Также необходимо отметить ряд работ, направленных на исследование вопросов стойкости паролей и формализации критериев стойкости [9], [10]. Данные работы содержат в себе статистические исследования утечек прошлых лет – парольные базы «Яндекс», «Mail», «Google». Однако, данные утечки не сопоставимы по объему с Collection #1, а сами работы имеют в большей части теоретическую направленность.

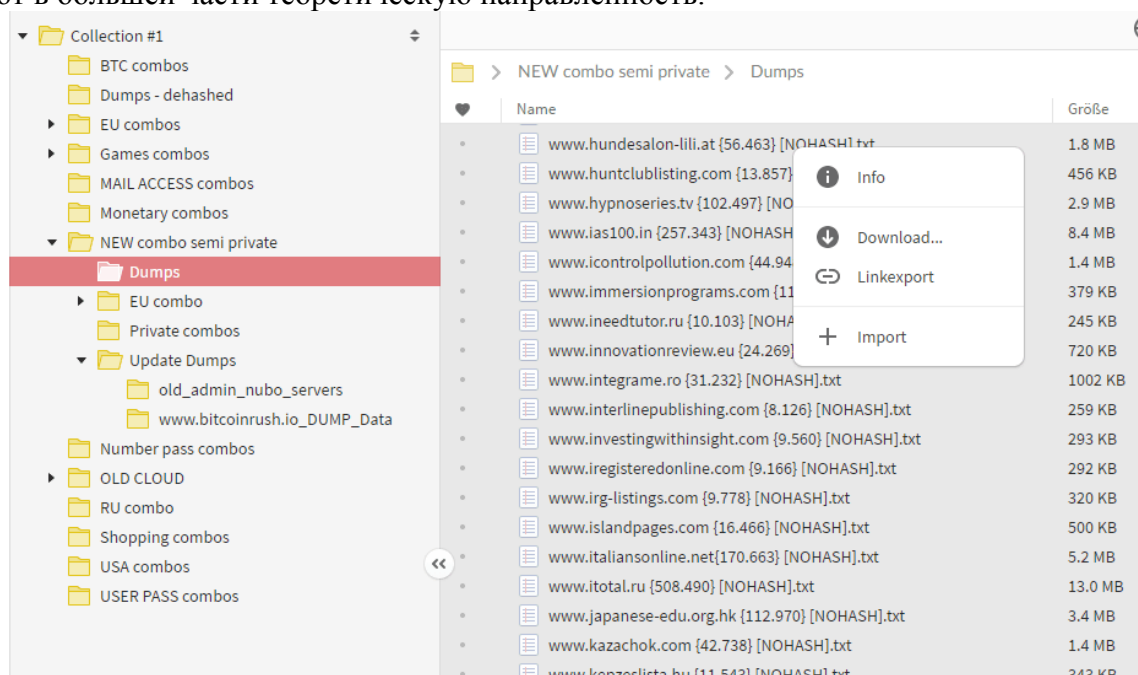


Рис. 1 – Структура Collection #1

Анализ статистических закономерностей Collection #1

Авторами данной работы предлагается использовать схожие с частотным криптоанализом подходы для усовершенствования известных методов атаки на парольные системы аутентификации, таких как *Brute Force* и атака по словарю. В качестве гипотезы предлагается предположение, что выявленные статистические закономерности на множестве Collection #1 позволят сократить время, затрачиваемое на перебор паролей, за счет приоритетного использования более популярных комбинаций символов, длин паролей и других особенностей.

Ниже приведены некоторые результаты статистических исследований множества Collection #1.

Условные обозначения:

abc – алфавит, состоящий из строчных букв латинского алфавита;

ABC – алфавит, состоящий из прописных букв латинского алфавита;

123 – алфавит, состоящий из цифр, включая 0;

#\$! – алфавит, состоящий из специальных символов.

Таблица 1 – Встречаемость символов различных алфавитов в порядке убывания вероятности для множества *Collection #1*

№	Алфавиты символов	Встречаемость (%)
1.	$abc \cup 123$	40,08
2.	Abc	17,3
3.	123	17,14
4.	$abc \cup ABC \cup 123$	7,63
5.	$abc \cup ABC$	4,98
6.	$ABC \cup 123$	3,15
7.	ABC	2,74
8.	$abc \cup \# \$! \cup 123$	2,48
9.	$ABC \cup \# \$!$	1,22
10.	$abc \cup ABC \cup \# \$!$	0,93
11.	$abc \cup \# \$!$	0,82
12.	$abc \cup ABC \cup \# \$! \cup 123$	0,62
13.	$ABC \cup \# \$! \cup 123$	0,4
14.	$\# \$! \cup 123$	0,22
15.	$\# \$!$	0,01

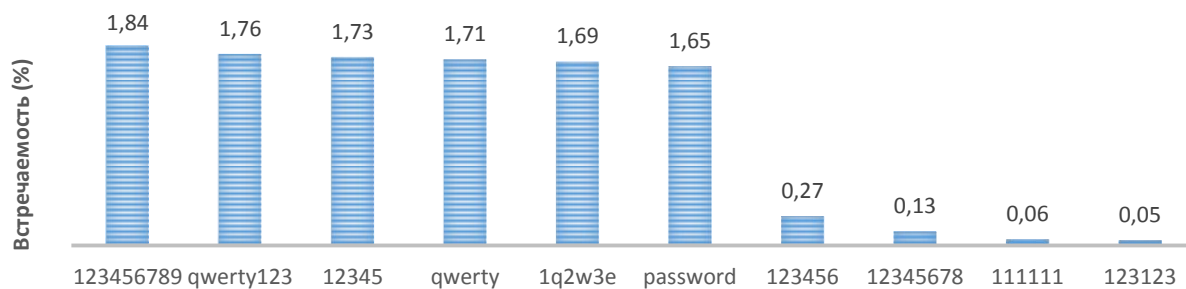


Рис. 2 – Десять наиболее распространенных паролей *Collection #1*

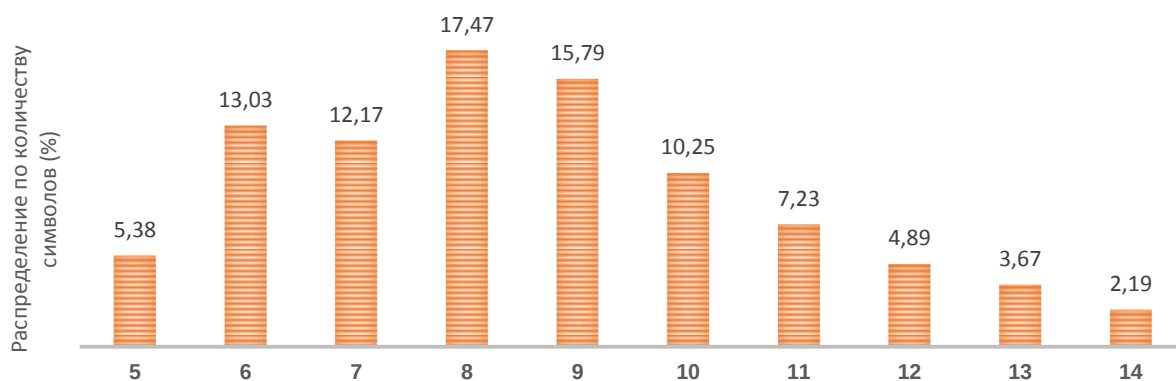


Рис. 3 – Десять наиболее распространенных длин паролей *Collection #1*

Таблица 2 – Наиболее распространенные символы и пары символов (биграммы) для множества *Collection #1*

Символ алфавита <i>abc</i>	Вероятность присутствия в пароле (%)	Символ алфавита <i>ABC</i>	Вероятность присутствия в пароле (%)	Пара символов алфавита $abc \cup ABC \cup \# \$! \cup 123$	Вероятность присутствия в пароле (%)
<i>a</i>	35,9	<i>A</i>	6,5	12	19,04
<i>e</i>	29,4	<i>E</i>	4,3	23	17,24
<i>r</i>	26,2	<i>L</i>	4,0	19	9,48
<i>i</i>	19,9	<i>D</i>	3,9	34	8,55
<i>o</i>	19,2	<i>T</i>	3,7	45	8,32
<i>n</i>	18,6	<i>F</i>	3,3	<i>er</i>	7,88
<i>s</i>	18,4	<i>U</i>	3,0	<i>we</i>	6,75
<i>t</i>	18,4	<i>S</i>	2,9	<i>qw</i>	6,57
<i>w</i>	15,7	<i>R</i>	2,7	56	6,07
<i>l</i>	15,5	<i>N</i>	2,6	20	5,58

В результате проделанной работы были проведены и другие статистические исследования множества *Collection #1*, результаты которых позволят в будущем разработать различные стратегии подбора паролей и оценить их эффективность. Например, частотный анализ встречаемости биграмм и триграмм определенного вида.

Инструментальные средства исследования эффективности стратегий подбора паролей

С целью формализации используемого понятия «подбор» пароля на рисунке 1 представлена модель, которая в том числе демонстрирует принцип работы разработанного для проверки гипотезы и апробации предлагаемых подходов программного обеспечения.

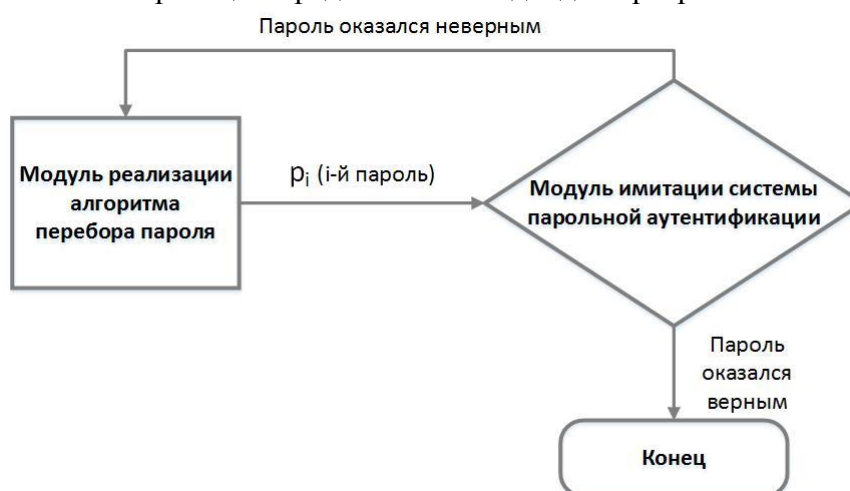


Рис. 4 – Принцип работы программного обеспечения

Созданное на основе представленной модели программное приложение (язык разработки *Python*, интерфейс представлен на рис. 5) функционирует следующим образом:

1. Экспертным путем происходит выбор стратегии «подбора» пароля, состоящий из трех шагов.

1.1. Выбор символов из 4-х различных алфавитов, которые будут участвовать в процессе перебора. Интерфейс программы позволяет выбрать наиболее популярные символы каждого алфавита на основе частотного анализа *Collection #1* или все символы алфавита.

1.2. Выбор участвующих в переборе длин паролей. Интерфейс программы позволяет выбрать интервал или конкретные длины с учетом их популярности в *Collection #1*.

1.3. Выбор режима работы алгоритма перебора паролей. В настоящий момент времени исследуются три режима работы (три стратегии перебора):

- режим полного посимвольного перебора возможных вариантов паролей с учетом заданных условий;
- режим выбора паролей из множества *Collection #1* с учетом заданных условий;
- режим генерации паролей путем комбинаций различных вариантов биграмм и триграмм из ряда наиболее встречающихся на основе результатов анализа *Collection #1*.

2. Настройка модуля имитации системы парольной аутентификации, включающая задание целевого значения хеш-функции.

3. Модуль алгоритма перебора паролей генерирует очередной пароль p_i до тех пор, пока не будет найдено такое значение, результат вычисления хеш-функции от которого будет соответствовать заданному пользователем (решение задачи нахождения первого прообраза хеш-функции) или не закончатся все возможные комбинации. Сообщение о завершении работы программы и полученный результат выводятся в специальном окне.

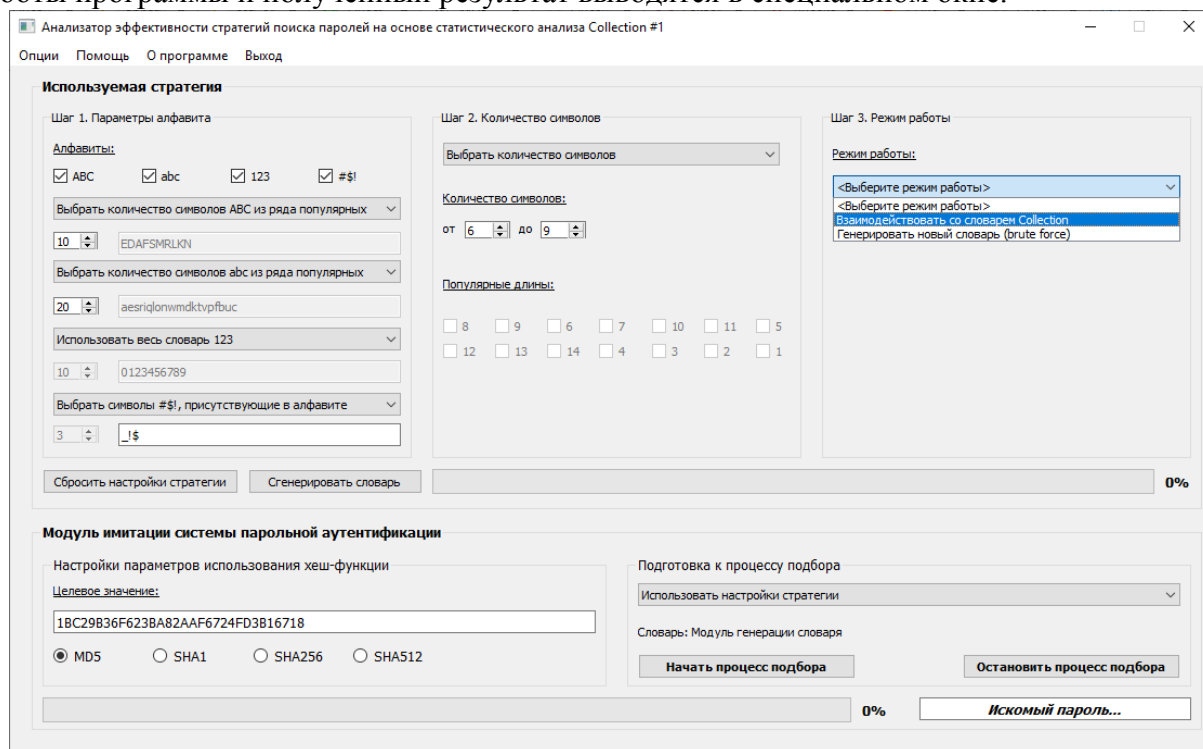


Рис. 5 – Графический интерфейс программного приложения

Способ задания очередного элемента (p_i) последовательности перебираемых паролей в общем случае может быть различным. Так, например, известны подходы [11], использующие для генерации очередного проверяемого пароля предварительно вычисленные вероятности (на основе *Collection #1* и подобных ей множеств) нахождения определенного символа на конкретной позиции, вероятности следования определенного символа за заданным текущим и т.д. Но, поскольку это требует существенных дополнительных вычислительных затрат и занимаемой памяти, связанных с необходимостью построения деревьев поиска, для более эффективной и быстрой проверки гипотезы в предлагаемом программном решении используется простой последовательный посимвольный перебор.

Необходимым для проведения исследований материалом являются значения хеш-функций от используемых людьми паролей. Авторы статьи получают такие значения хеш-функций путем проведения анонимных социологических опросов среди добровольцев. Целевой аудиторией являются студенты бакалавриата 3 и 4 курсов обучения СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

Заключение

Предлагаемые модель и программное обеспечение направлены не только на локальное решение задач и по обращению хеш-функцию за время, меньшее чем требуется при *Brute Force*. Результаты исследований позволят выбирать более выигрышные стратегии перебора и в активных атаках на информационные системы, когда избыточные неуспешные попытки входа в информационную систему связаны с риском оставления следов или с задачей прохождения теста CAPCHA.

Эффективность каждой конкретной стратегии подбора паролей и подхода в целом еще предстоит оценить экспериментально. Параллельно с решением задачи оценки эффективности описанных стратегий, требующей значительных вычислительных мощностей и времени, в настоящее время разрабатываются и апробируются новые возможные идеи, основанные на результатах статистического анализа *Collection #1*. Например, представляется перспективным развитие и усовершенствование гибридных методов, применяемых в проектах со схожей направленностью, таких как *THC-Hydra*, *Patator*, *John The Ripper*.

Список литературы

1. Mother of All Breaches Exposures [Электронный ресурс]. URL: <https://gizmodo.com/mother-of-all-breaches-exposures-773-million-emails-21-m-1831833456> (дата обращения: 08.06.2020).
2. Password Definition Language [Электронный ресурс]. URL: <http://www.parallelrecovery.com/password-definition-language.php> (дата обращения: 08.06.2020).
3. Официальный сайт проекта «Пасковери» [Электронный ресурс]. URL: <https://passcovery.ru> (дата обращения: 08.06.2020).
4. Hashcat advanced password recovery [Электронный ресурс]. URL: <https://hashcat.net/> (дата обращения: 08.06.2020).
5. Адаптивный анализ надежности паролей при помощи гибридных суперэвм / В.А. Роганов, А.А. Кузнецов, Г.А. Матвеев и др. // Программные системы: теория и приложения. 2015. № 4 (27). С. 139–155.
6. Vaithyasubramanian S, Christy A, Saravanan D. An analysis of Markov password against Brute force attack for effective web applications // Applied mathematical sciences, Vol. 8, 2014. No. 117, 5823-5830, ISSN 1312-885X.
7. Hitaj B, Gasti P, Ateniese G, Perez-Cruz F. PassGAN: A Deep Learning Approach for Password Guessing // NeurIPS, 2018. Workshop on Security in Machine Learning (SecML'18), 2019.
8. Применение нейронных сетей для расшифровки хеш значений / М.Б. Хорошко // Материалы Международной молодежной научно-практической конференции «Применение и развитие нейросетевого моделирования для решения фундаментальных задач в науке и технике», 2018. С. 47–50.
9. Марков Г.А. К вопросу об определении стойкости парольных систем // Сборник трудов Третьей всероссийской НТК «Безопасные информационные технологии» / Под. ред. В.А. Матвеева. – М.: НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 21-23.
10. Гуфан К.Ю., Новосядлый В.А., Эдель Д.А. Оценка стойкости парольных фраз к методам подбора // Открытое образование, 2011. – № 2. – С. 127-130.
11. Тюрин К.А., Семин Р.В. Анализ стойкости парольных фраз на основе информационной энтропии // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. – С. 18-27.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

О.Ю. Долматов, Р.С. Шурыгин, М.Д. Юрченко, М.С. Кузнецов, В.В. Верхотурова

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
Инженерная школа ядерных технологий,
Томск, kms@tpu.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ ВВЭР-1000
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SOLIDWORKS**

В рамках данной работы представлены результаты теплогидравлического моделирования процессов тепломассопереноса в элементарной ячейке ядерной установки ВВЭР-1000 с использованием САПР SolidWorks и показана возможность использования программы для моделирования переходных или аварийных процессов в данной установке. Рассчитанные характеристики с удовлетворительной точностью совпадают с имеющимися теоретическими, однако в дальнейшем необходима модернизация модели для получения более высокой точности расчетов.

Ключевые слова: ВВЭР, элементарная ячейка, реактор, моделирование.

Введение

Атомная энергетика — динамично развивающаяся отрасль. На сегодняшний день доля выработки электроэнергии АЭС составляет более 19.5 % от всей электроэнергии России и порядка 42 % в европейской части страны. Одной из важных задач для мирного атома на сегодняшний день является повышение эффективности работы АЭС при надлежащем уровне ядерной и радиационной безопасности. При переходе к новому, более эффективному режиму работы установки необходимо оценить изменение различных теплофизических параметров в процессе её эксплуатации.

Таким образом, цель данной работы — математическое моделирование процессов тепломассопереноса в элементарной ячейке реактора ВВЭР-1000. Моделирование осуществляется с применением CAD/CAE/CAM систем, которые существенно уменьшают временные и материальные затраты.

Математическая модель

В основе программы SolidWorks лежит доступный и интуитивный графический интерфейс, позволяющий быстро реализовывать идеи на эскизе, экспериментировать с элементами и размерами, создавать модели и подробные чертежи и производить различный спектр исследовательских работ [1].

Модель твэла реактора построена по детальным чертежам и представлена на рисунке 1 с изображением сетки.

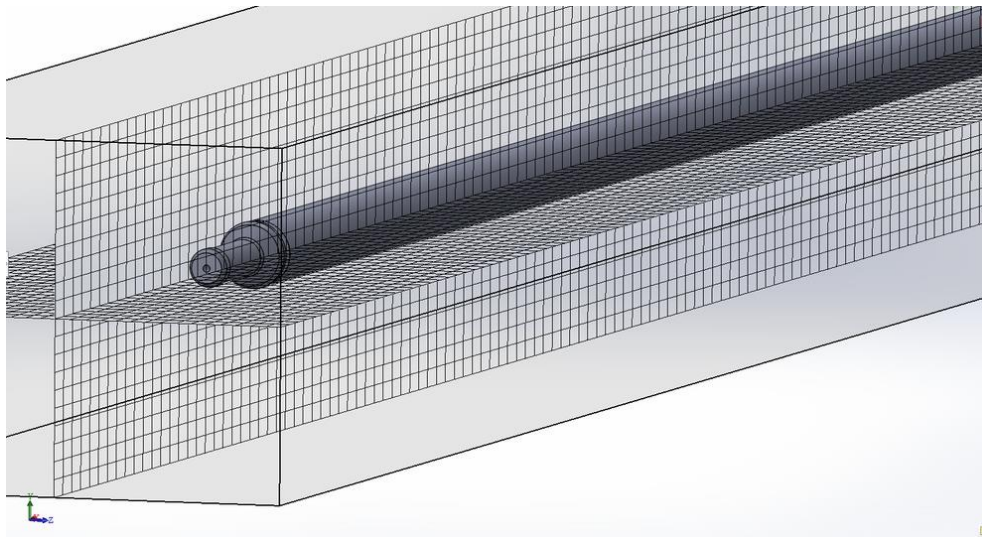


Рис. 1 – Расчетная модель твэла в «SolidWorks Flow Simulation»

Тепломассоперенос между телом и обтекающим его жидкостью или газом называют конвективным теплообменом. В движущейся жидкости температурное поле зависит от распределения скоростей. Последнее описывается дифференциальным уравнением движения, вывод которого основан на втором законе Ньютона. В связи с этим основу математической модели составляет уравнение Навье-Стокса [2,3]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{w}) = 0, \quad (1)$$

где ρ – плотность текучей среды;

t – время;

$\vec{w}$ – векторное поле скорости.

Для текучих сред с постоянной плотностью уравнение Навье-Стокса и уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \vec{w}}{\partial t} + \vec{w} \nabla \vec{w} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{w} \quad (2)$$

$$\text{div}(\vec{w}) = 0 \quad (3)$$

где ∇ – оператор Набла;

Δ – векторный оператор Лапласа;

ν – коэффициент кинематической вязкости;

$\vec{g}$ – векторное поле массовых сил;

p – давление.

Так же дифференциальное уравнение теплопроводности имеет место при расчетах плотного расположения твердых тел друг к другу [2]. Составляющие модели имеет цилиндрическую форму, поэтому целесообразней использовать уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах, предполагая малое изменение термодинамических коэффициентов между двумя объемами сетки (МКО):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) + f(z, r, u), \quad (4)$$

где u – температура;

α – коэффициент температуропроводности;

z – высота;

r – длина радиус вектора;

f – функция тепловых источников.

Процесс тепломассопереноса базируется на одном из главных и решающих параметров при расчете – удельной мощности объемного энерговыделения.

При работе реактора ВВЭР-1000 на номинальном уровне мощности, было установлено [4], что не должны превышать определенные максимальные значения тепловых нагрузок в ТВЭлах:

$q_{max} = 448$ Вт/см – максимальный линейный тепловой поток для ТВЭла;

$q_{max} = 360$ Вт/см – максимальный линейный тепловой поток для ТВЭга.

Указанные максимальные значения получаются из расчетов следующим образом:

$$q_{max} = q_{сред} \cdot (k_q \cdot k_k) \cdot k_z \cdot k_{эн} \cdot k_{под} \cdot k_{инж}, \quad (5)$$

где q_{max} – максимальное значение линейного энерговыделения;

$q_{сред} = \frac{N_{акэ}}{163 \text{ (ТВС)} \cdot 312 \text{ (ТВЭЛ)} \cdot 356 \text{ (см)}}$ – среднее значение линейного энерговыделения [4];

k_q – максимальный коэффициент неравномерности распределения мощности по ТВС для номинальной мощности;

$k_k = 1.1$ (для ТВЭла) – коэффициент неравномерности по ТВЭлам внутри ТВС;

k_z – коэффициент неравномерности энерговыделения по высоте ТВС;

$k_{эн} = 1.02$ – коэффициент, учитывающий точность определения мощности реактора;

$k_{под} = 1.02$ – коэффициент, принимающий во внимание точность поддержания мощности реактора системой регулирования;

$k_{инж}$ – инженерный коэффициент запаса, рассматривающий влияние технологических допусков и неточностей расчётных программ, методик.

Кроме вышеуказанных условий не превышения максимальных значений необходимо отметить, что при эксплуатации реактора максимальная тепловая нагрузка на ТВЭЛ не должна превышать критическую тепловую нагрузку [4].

Таким образом, $q_{max} = 855$ МВт/м³ для ВВЭР-1000 [1].

Основные необходимые параметры для задания начальных условий процесса, представлены в таблице 1. Текущие данные и свойства материалов взяты из открытых источников [4,5,6].

Таблица 1 – Начальные условия для построения модели

Начальные параметры	Значения
Давление	16 МПа
Температура теплоносителя	290 °С
Начальная скорость теплоносителя	6.6 м/с
Коэффициент теплоотдачи	2800 Вт/(м ² •К)
Масштаб турбулентности	125.38 мкм
Удел. мощность объемного тепловыделения	855 МВт/м ³

Результаты

Первая расчетная модель для стационарного анализа ТВЭла ВВЭР-1000 построена без центрального отверстия для газового слоя в условиях сжимаемой жидкости как текучей среды. Результаты представлены в таблице 2.

Для последующего анализа ТВЭла ВВЭР-1000 применена модель с наличием центрального отверстия для газового слоя в условиях обычной воды, как текучей среды. Результаты расчетов представлены графически на рисунках 2-4 и аналитически в таблице 2.



Рис. 2 – Температурное поле твэла с видом на верхнюю заглушку

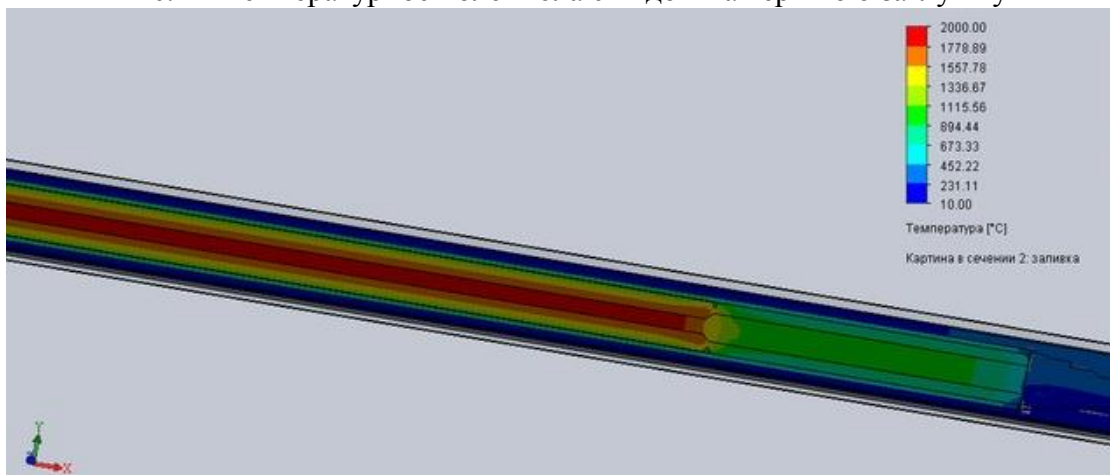


Рис. 3 – Температурное поле твэла с видом на нижнюю заглушку

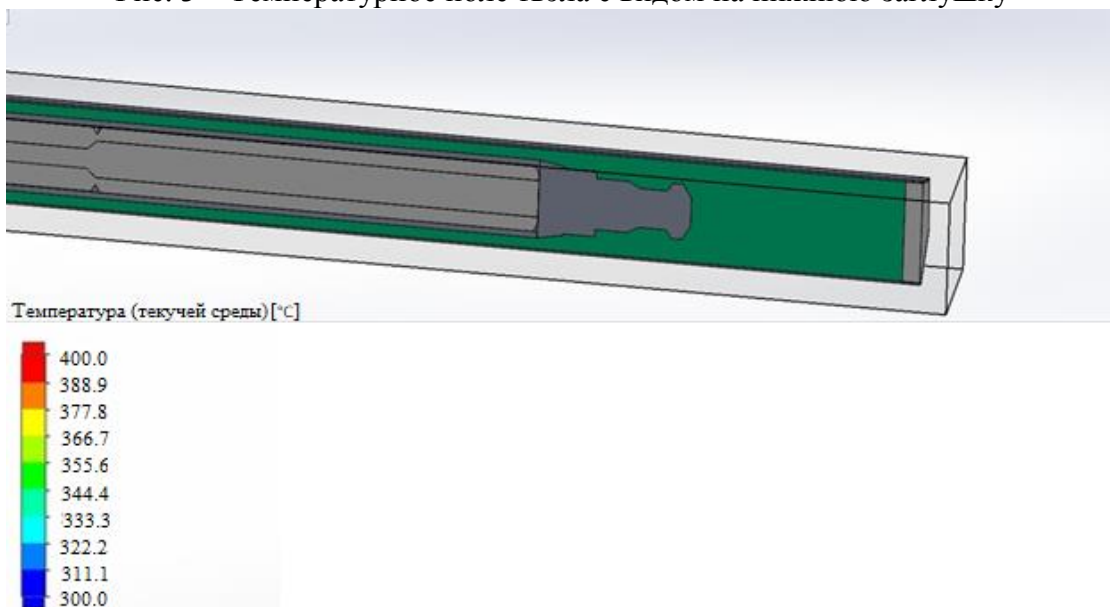


Рис. 4 – Температурное поле текучей среды с видом на нижнюю заглушку

Анализ результатов показывает, что в случае без центрального отверстия наблюдается высокий градиент температур, негативно сказывающийся на целостности конструкции и на продолжительность топливной кампании. Наличие газового пространства обеспечивает снижение температуры в центре топливного стержня и её плавный переход к поверхности, что положительно сказывается на продолжительности топливной кампании и обосновывает данный подход в практическом применении.

Стоит добавить, что средняя температура теплоносителя на входе по источнику [4,5] приравнивается к 290 °С, а на выходе из реактора в диапазоне температур от 297 °С до 327.6 °С. Для модели без газового зазора максимальная температура достигала 342 °С. Данные температуры соответствуют центральному тепловыделяющему элементу без учета интегральной характеристики.

Также в работе был проведен анализ взаимодействия двух типов воды с активной средой. Сжимаемая жидкость имеет на выходе температуру нагрева выше, чем обычная вода (несжимаемая жидкость), что объясняется их физическими характеристиками.

Таблица 2 – Результаты теплогидравлических расчетов

Температуры, max/min °С	ВВЭР-1000	Модель с отверстием	Модель без отверстия
Наружная для таблетки	900 / 470	1130 / 475	1224 / 1085
Внутренняя для таблетки	1580/ 620 1940 (крит)	1810 / 570	2200 / 1400
На внешней стороне оболочки ТВЭЛА	– / 352	735 / 400	754 / 520
На внутренней поверхности оболочки	– / 414	755 / 420	800 / 550

Данная модель требует корректировки параметров тепловыделения, потоков и скорости течения с целью достижения наибольшего сходства с реальной картиной, что вызывает необходимость во владении точными значениями необходимых параметров. Однако, полученные результаты с удовлетворительной точностью совпадают с истинными характеристиками работающего реактора, что говорит об успешной верификации модели.

Заключение

В ходе выполнения работы описана и создана математическая модель тепловыделяющего элемента, которая позволяет осуществлять расчет температурных полей в тепловыделяющем элементе и окружающем его слое теплоносителя.

В случае моделирования двух ячеек реакторной установки ВВЭР получены численные результаты, наглядно доказывающие необходимость применения центрального газового отверстия - его наличие обеспечило снижение температуры внутри топливной композиции с 2200 °С до 1810 °С.

Непосредственное сравнение результатов расчета модели «с отверстием» и эксплуатационных показывает незначительные отклонения (большинство в пределах до 10%). Верификация с удовлетворительной точностью говорит о наличии возможности использования САПР SolidWorks для непосредственного решения термодинамических задач для различных реакторных установок.

Список литературы

1. Комплексный подход к инженерному анализу в SolidWorks [Электронный ресурс]. – URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18292 (дата обращения: 05.09.2020).
2. *Крайнов А.Ю. и др.* Конвективный теплоперенос и теплообмен: учебное пособие: [по направлениям 16.04. 01-техническая физика, 24.04. 03-баллистика и гидроаэродинамика на физико-техническом факультете ТГУ]. – 2017.
3. *Семенович О.В.* Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок: учеб. пособие. – Минск: Вышэйная школа, 2016. – 239 с.
4. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000 / В. И. Белозеров, М. М. Жук, Ю. А. Кузьмина, М. Ю. Терновых – Монография. М.: НИЯУ МИФИ. 2014 – 288 с.
5. *Лескин С.Т., Шелегов А.С., Слободчук В.И.* Физические особенности и конструкция реактора ВВЭР-1000. – 2011.
6. Справочные данные по теплофизическим свойствам веществ [Электронный ресурс]. – URL: <http://thermalinfo.ru/> (дата обращения: 12.04.2020).

05.13.18

¹Н.В. Иваницкая канд. физ.-мат. наук, ²А.К. Байбулов канд. техн. наук¹Казахско-русский международный университет,
кафедра «ИКТ, охраны труда, инженерии и инженерного дела»,²Актюбинский университет им. С. Баишева,
кафедра нефтегазового дела,
Актобе, vip.nvi1979@mail.ru, amirbai@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКОГО КРУГЛОГО ДНИЩА

В статье представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) оребренных плоских днищ резервуаров, находящихся под избыточным внутренним давлением. Путем численного моделирования в программе ANSYS получены значения НДС в днищах резервуаров в зависимости от количества и расположения на них ребер жесткости.

Ключевые слова: *плоское днище, оребренное днище, ребра жесткости, напряженно-деформированное состояние, численный анализ, компьютерное моделирование.*

Введение. В сосудах для хранения жидкостей и газов под невысоким давлением часто используются резервуары с плоскими днищами. Они просты в изготовлении, дешевы, но вместе с тем область их применения ограничена. Недостатком плоских стенок является плохая сопротивляемость действующему на них давлению, вследствие чего толщина их получается значительно больше, чем у сферических и эллиптических поверхностей [1,2]. Однако во многих случаях без их применения невозможно обойтись, и они часто служат основными составными частями аппаратов.

Как правило, плоские стенки усиливаются ребрами жесткости. Из предположения, что ими воспринимается половина действующей нагрузки, а другая ее половина действует на плоскую стенку, даются рекомендации по подбору укрепляющих ребер [1,2]. В работе [3] выполнен с позиции минимизации материалоемкости конструкции расчет размеров ребер и толщины стенки оребренного днища. При этом авторы принимают равными толщины ребер и стенки днища. Однако эти параметры являются самостоятельными и оказывают различное влияние на напряженное состояние конструкции. Поверочный расчет днища цистерны топливозаправщика рассмотрен в работе [4]. На основании инженерного расчета на прочность плоского днища с ребрами жесткости авторы дают рекомендации по усилению конструкции, но вопросов оптимизации не затрагивают. Таким образом, в перечисленных выше работах не учитывается распределение напряжений в днище, не рассмотрено, каким должно быть оптимальное расположение и количество укрепляющих ребер.

Расчеты, выполненные нами в программном комплексе ANSYS [5], показывают, что возникающие в круглом плоском днище напряжения можно представить в виде концентрических окружностей, причем наибольших значений они достигают в центре. Толщина стенок подбирается по максимальному напряжению, вследствие чего края днища оказываются недогруженными. Одним из способов оптимизации конструкции плоского днища является перераспределение напряжений по его площади за счет внесения конструктивных изменений, наиболее простым из которых является установка ребер жесткости.

Целью работы является установление оптимальной схемы размещения ребер жесткости на круглом плоском днище резервуара, находящегося под действием избыточного внутреннего давления. Задача исследования состояла в изучении напряженно-деформированного состояния плоского днища в зависимости от количества установленных на нем ребер жесткости и схемы их расположения.

Для проведения исследований был выбран программный комплекс ANSYS. Рассматривалось оребренное плоское круглое днище толщиной 0.01 м и диаметром 1.0 м, контур которой был закреплен от перемещений во всех направлениях. Изучалось распределение в нем напряжений при 2, 4, 6 и 8 ребрах жесткости с продольно-поперечной и радиальной их установкой. Использовались ребра жесткости высотой 0.06 м и толщиной 0.02 м. В процессе расчетов менялись количество ребер и их расположение на поверхности. В качестве материала принята стальная пластина с модулем упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$. Моделирование пластины осуществлялось с помощью конечных элементов SHELL 181, а ребер жесткости BEAM 4 [5]. При проведении расчетов использовалось свободное разбиение сетки конечных элементов.

Результаты. На рис. 1 приведены поля напряжений по Мизесу, возникающие в плоском оребренном днище при установке 4-х и 8-ми ребер жесткости. Установка ребер жесткости приводит к перераспределению нагрузок между ними и стенками днища.

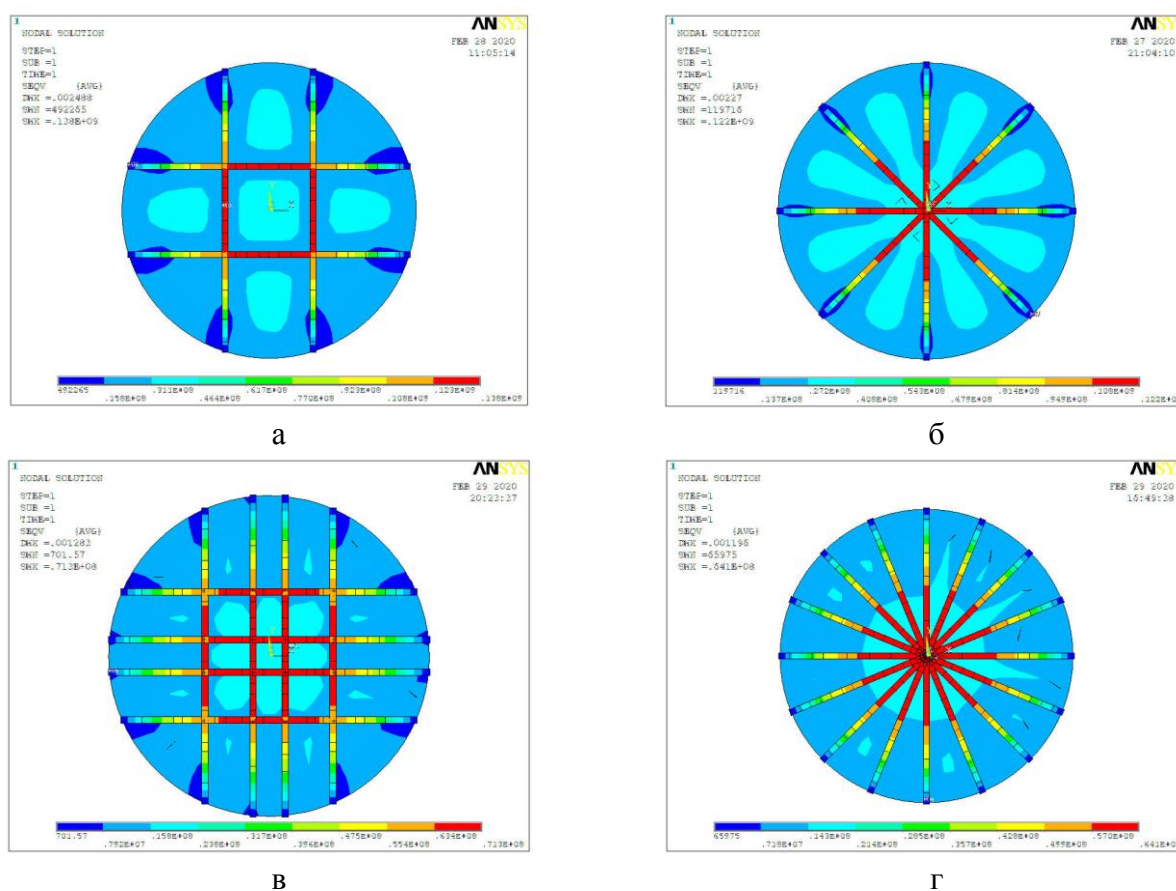


Рис. 1– Распределение напряжений в плоских днищах, укрепленных ребрами:

а – четырьмя продольно-поперечными; б – четырьмя радиальными;
в – восемью продольно-поперечными; г – восемью радиальными.

При этом ребра работают как балки, нагруженные распределенной нагрузкой. Максимальные напряжения возникают в их средней части, над центральной областью днища. С увеличением количества ребер нагрузка на них снижается, а напряжения в них уменьшаются по нелинейной зависимости (рис 2). Из рисунка 2 видно, что при отсутствии каких-либо дополнительных условий можно ограничиться 6-8 ребрами жесткости.

Поля напряжений в стенке днища также меняются в зависимости от количества и расположения ребер. Участки, расположенные между ребрами, оказываются наиболее нагруженными.

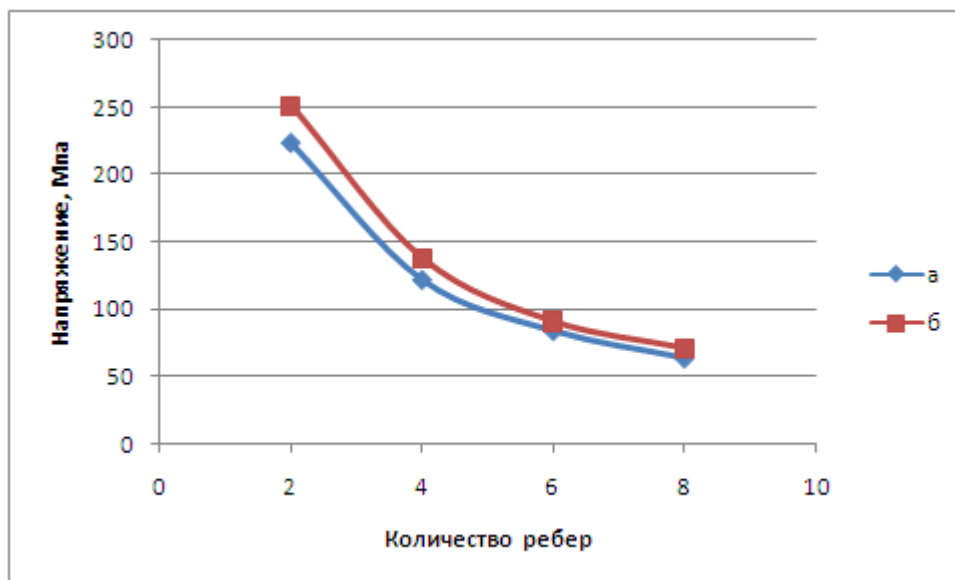


Рис. 2 – Максимальные напряжения в ребрах в зависимости от их количества и расположения: а – при радиальном; б – при продольно-поперечном.

С увеличением количества ребер площади этих участков уменьшаются, напряжения в них снижаются, а сами они смещаются к центру (рис. 1). По мере роста числа ребер интенсивность изменения напряжений в стенке уменьшается (рис. 3). Следует отметить, что при продольно-поперечном расположении напряжения как в ребрах, так и в стенке днища оказываются несколько выше по сравнению с установкой их вдоль радиуса. С увеличением количества ребер деформации днища также уменьшаются, однако жесткость конструкции от схемы расположения ребер жесткости не зависит.

Полученные результаты дают возможность установить необходимую толщину стенки и подобрать параметры ребер. Нахождение оптимального соотношения между размерами ребер и толщиной стенки позволит получить прочную, жесткую конструкцию с небольшой металлоемкостью.

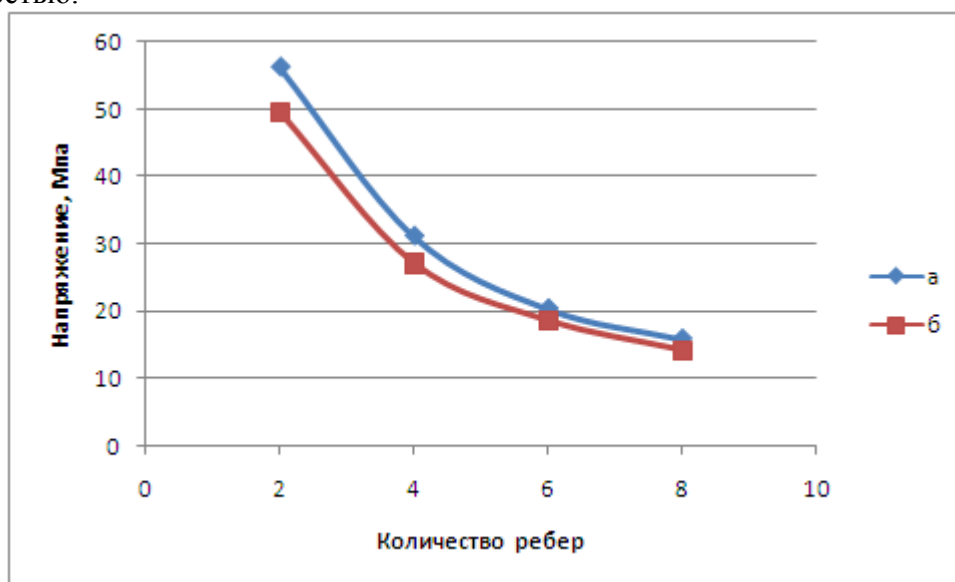


Рис. 3 – Максимальные напряжения в стенке днища в зависимости от количества ребер жесткости и их расположения: а – при продольно-поперечном; б – при радиальном.

Выводы. Получены зависимости изменения полей напряжений в плоском днище от количества ребер жесткости и схемы их расположения. Они дают возможность подбора параметров ребер жесткости и толщины стенки днища. Нахождение оптимального соотношения между ними позволит получить прочную, жесткую конструкцию с небольшой металлоемкостью. При необходимости применения плоских днищ их следует укреплять радиально расположенными ребрами в количестве 6-8 штук.

Список литературы

1. *Нехаев Г.А.* Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Нехаев. – М. : АСВ, 2005. – 216 с.
2. *Лацинский А.А.* Конструирование сварных химических аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
3. *Лагуткин М.Г.* Особенности расчета и конструирования плоских круглых днищ с радиальными ребрами жесткости / М.Г. Лагуткин, Е.В. Ломонос, С.В. Михайловский, А.В. Холодный //Безопасность труда в промышленности. – 2014. - №7.- С. 46 – 49.
4. *Коротковских В.К., Вотинов В.А.* Расчет на прочность плоского днища с ребрами жесткости //Вестник Курганского университета. – 2008. - №3. – С. 8 – 10.
5. *Дашенко А.Ф.* ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов // Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Н. Г. Сурьянинова.— Одесса. — Пальмира, 2011.— 505 с.

05.13.18

В.И. Курир канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ,
институт автоматизации и электронного приборостроения,
кафедра электрооборудования,
Казань, kurir_valerian@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА NX UNIGRAPHICS В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

В статье представлен один из модулей известной системы 3D графики NX UNIGRAPHICS – NX OPEN API. Данный модуль обеспечивает прямой программный интерфейс к системе NX, позволяя создавать приложения на языках программирования Basic, C и Java. Соответственно, позволяет проводить построение модели, детали в пакетном режиме. Автор доказывает необходимость совместного изучения студентами машиностроительных направлений пакета NX и модуля NX OPEN API.

Ключевые слова: NX, NX OPEN API.

До последнего времени на машиностроительных предприятиях существовала проблема с конструкторской документацией. Чертежи изделий изготавливались с применением различных графических пакетов. Совершенно ясно, что приоритет за известными графическими пакетами: NX UNIGRAPHICS, Pro/ENGINEER, SolidWorks. Подобная ситуация была связана с преобладанием в учебных программах вузов более удобных и хорошо обкатанных годами пакетов КОМПАС, AutoCAD, ADEM и рядом других.

В тоже время руководство министерства образования и науки РФ неоднократно настаивает на следующем. Выпускник, освоивший программы бакалавриата по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», должен обладать тремя главными общепрофессиональными компетенциями (ОПК). Третьей обязательной компетенцией является: способность использовать современные информационные технологии, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности (ОПК – 3). Подразумевается, что студент должен пройти обучение по наиболее мощным зарубежным и отечественным графическим пакетам – лидерам в профессиональной сфере.

Проведение процесса оптимизации сложных изделий также связано с проблемой многократного воспроизведения точной формы изделия. Именно здесь помощь конструкторам могут оказать дополнительные компоненты графических пакетов. Для пакета NX UNIGRAPHICS таким приложением является модуль NX OPEN API, обеспечивающий прямой программный интерфейс к системе NX [1, 2]. В основу приложения заложено программирование прикладных программ в среде NX на языке C с использованием библиотек Open API NX. Программы, написанные в данном приложении, следует рассматривать как журнальные файлы применительно к системе NX. Последние отличаются тем, что графические операции выполняются автоматически в программном режиме. А это приводит к многократному ускорению времени создания оптимизируемой формы изделия.

Дополнительным приложением пакета NX является приложение NX Advance Simulation, позволяющее провести сложные прочностные расчёты будущих конструкций [3] с применением метода конечных элементов –МКЭ. Приложение позволяет численно оценить упругие и пластические деформации конструкций, получить спектр собственных колебаний конструкций, провести анализ устойчивости конструкций, провести оптимизацию конструкций, прошедших указанные численные проверки.

Приведём одну из программ, созданных в приложении NX OPEN API.

Ниже приведён программный модуль (Листинг 1), формирующий тело вращения из сечения, представленного на рис. 1. Полученное тело представлено на рис. 2.

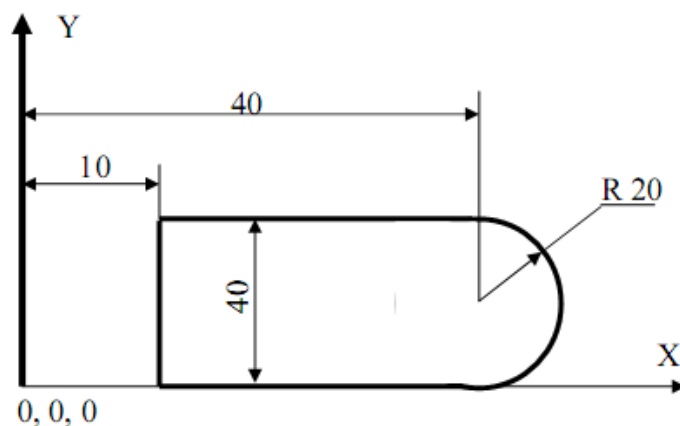


Рис. 1. Эскиз профиля для вращения

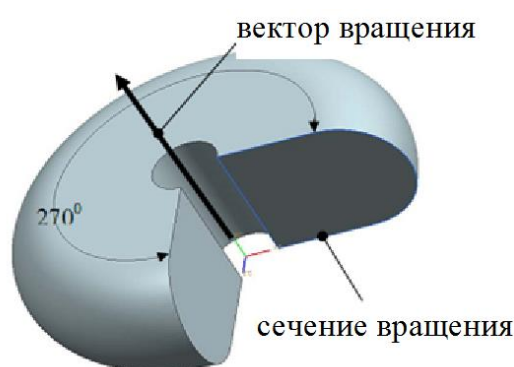


Рис. 2. Тело, полученное в результате выполнения функции вращения

Листинг 1

```
#include <uf.h>
#include <uf_curve.h>
#include <uf_csys.h>
#include <uf_modl.h>
void ufusr(char *param, int *retcode, int param_len)
{
    /* Определяется массив линий с координатами их концов, используемых в эскизе
    вращаемого сечения */
    UF_CURVE_line_t line[3]={
        {{10.0,0.0,0.0},{10.0,40.0,0.0}},
        {{10.0,0.0,0.0},{40.0,0.0,0.0}},
        {{10.0,40.0,0.0},{40.0,40.0,0.0}}
    };
    UF_CURVE_arc_t arc; //структура данных дуги
    tag_t objarray[4], //теги для трех линий и дуги
        wcs_tag; //тег для системы координат
    //предельные углы вращения сечения
    char *limit[2] = {"0.0", "270.0"};
    //точка начала вектора вращения
    double point[3] = {0.0, 0.0, 0.0};
    //орты вектора вращения
    double direction[3] = {0.0, 1.0, 0.0};
    //признак создания самостоятельного тела
    UF_FEATURE_SIGN sign = UF_NULLSIGN;
```

```
//заготовки указателей на перечни объектов
uf_list_p_t loop_list, features;
int i;
if (!UF_initialize())
{
    //задание параметров дуги в сечении
    arc.start_angle = -90.0 * DEGRA;
    arc.end_angle   = 90.0 * DEGRA;
    arc.arc_center[0] = 40.0;
    arc.arc_center[1] = 20.0;
    arc.arc_center[2] = 0.0;
    arc.radius       = 20.0;
    // построение трех линий сечения
    for (i=0; i<3; i++)
        UF_CURVE_create_line(&line[i], &objarray[i]);
    // получение матрицы абсолютных координат
    UF_CSYS_ask_wcs(&wcs_tag);
    // связывание матрицы поворота дуги с абсолютными координатами
    UF_CSYS_ask_matrix_of_object(wcs_tag,
        &arc.matrix_tag);
    // построение дуги сечения
    UF_CURVE_create_arc(&arc, &objarray[i]);
    //создание пустого перечня объектов
    UF_MODL_create_list(&loop_list);
    // заполнение перечня тремя линиями и одной дугой
    for(i = 0; i < 4; i++)
        UF_MODL_put_list_item(loop_list, objarray[i]);
    // создание тела вращения
    UF_MODL_create_revolved(loop_list, limit, point,
        direction, sign, &features);
    UF_terminate();
} }
```

Проведение курсов повышения квалификации конструкторов предполагается раз в пять лет. Понятна политика руководства министерства образования и науки РФ, настаивающая на едином обучении студентов указанного направления данным комплексам ещё в стенах вуза.

Список литературы

1. Краснов М., Чигишев Ю. Unigraphics для профессионалов. – М.: ЛОРИ, 2004. – 319 с.
2. Тихомиров В.А. Разработка приложений для Unigraphics на языке С. Учебное пособие. – Комсомольск на Амуре: Изд. КНАГТУ, 2012. – 462 с.
3. Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф., Денисихин С.В., Сотник Д.Е. NX Advanced Simulation. Практическое пособие. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 112 с.

05.13.18

Ю.Г. Полкунов д-р техн. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра прикладной математики,
Оренбург, polkunov_ug@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В УСТУПНОМ РЕЖИМЕ РАЗРУШЕНИЯ

Статья посвящена разработке математической модели нагруженности конических дисковых инструментов в уступном свободном режиме разрушения от геометрических размеров, режимных параметров и прочностных характеристик пород.

Ключевые слова: конический дисковый инструмент, разрушение.

Производственные исследования показали, что оснащение исполнительных органов проходческого комбайна избирательного действия коническими дисковыми инструментами по сравнению с резцовыми инструментами позволили увеличить скорость подачи и расход рабочего инструмента [1].

Разрушение пород в уступном свободном режиме разрушения осуществляется, когда глубина внедрения на много раз меньше высоты боковой свободной поверхности $h \ll L$.

Построение модели осуществлялось по алгоритму [2,3], позволявшему использовать феноменологическое моделирование с уменьшением числа эмпирических параметров.

Исследования напряженного состояния горных пород и хрупкого разрушения дисковыми инструментами в условиях свободного уступного режима разрушения проводились при построении моделей со следующими входными параметрами: диаметр дискового инструмента $D = 0,16; 0,2; 0,28$ м; глубина внедрения $h = 0,006; 0,010; 0,016; 0,02; 0,025$ м; шаг разрушения $t_p = 0,03; 0,04; 0,05; 0,06$ м; высота выступа $L = t_p$.

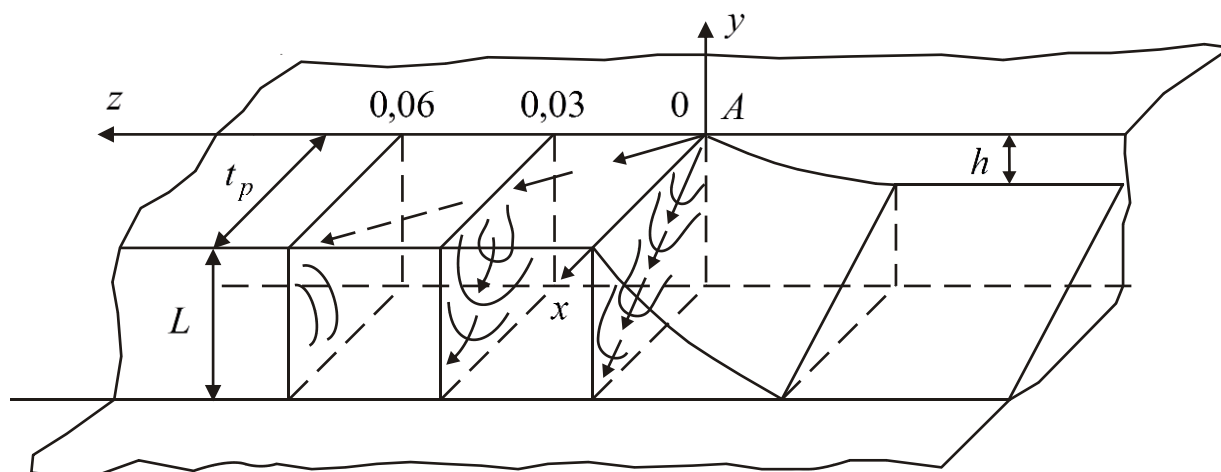


Рис. 1 - Поверхности разрушения в условиях уступного свободного режима разрушения:

$$h = 0,006 \text{ м}, t_p = 0,03 \text{ м}, L = 0,03 \text{ м}$$

Краевые условия выбирались в следующем виде на AB (рисунок 1)

$$\sigma_n = R \left(1 - \cos \frac{2\pi\eta}{\theta} \right) \left(1 - \cos \frac{(\xi + b_L)\pi}{b_L} \right),$$

Где σ_n - нормальные напряжения;

R - радиус дискового инструмента;

h - глубина внедрения;

$$\theta = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right);$$

b_L - проекция длины контакта лезвия дискового инструмента с породой по оси Ox ;

η, ξ - криволинейные координаты.

Поверхности разрушения, образованные при разрушении пород дисковыми инструментами в условиях свободного уступного режима разрушения, были построены в зонах главных напряжений $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 < 0$, $\sigma_3 < 0$. На рисунке 1 представлено описание поверхности разрушения в условиях свободного уступного режима разрушения в объемной постановке. В результате лабораторных исследований по разрушению песчано-цементного блока коническим дисковым инструментом было установлено, что полученные формы осколков сопоставимы между собой.

Таким образом, анализ напряженного состояния горных пород под лезвием дисковых инструментов в условиях свободного уступного режима разрушения показал, что:

- горные породы под лезвием дисковых инструментов находятся в сложном напряженном состоянии и местоположение зон от изменения геометрических и режимных параметров не меняется;

- разрушение крупных элементов осуществляется в зоне с разноименными знаками главных напряжений $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 < 0$, $\sigma_3 < 0$.

Расчетные формулы нагрузок на конических дисковых инструментах при разрушении пород, имеющих предел прочности горных пород на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \leq 40 \text{ МПа}$, в условиях уступного свободного режима разрушения имеют следующий вид:

$$P_z = D\theta\sqrt{\rho}\sqrt{5t_p}\frac{\sin(\varphi-\gamma)}{\cos\gamma}\sin(k\theta)\sigma_{сж}e^{\lambda},$$

$$P_y = P_z \operatorname{ctg}(k\theta),$$

$$P_x = \frac{P_z \cdot c \cdot \lambda \cdot b}{R \sin(k\theta)},$$

Где P_x, P_y, P_z - проекции вектора усилий $\bar{P}$ на оси декартовой системы координат Ox, Oy, Oz , соответственно, Н;

φ - угол заострения, град. (рад.);

γ - задний угол, град. (рад.);

R - радиус дискового инструмента, м;

D - диаметр дискового инструмента, м;

$$\theta = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right), \text{ рад.};$$

$\rho = 0,0005$ м - острый дисковый инструмент;

ρ - радиус закругления лезвия, м;

t_p - шаг разрушения, м;

h - глубина внедрения, м;

b - ширина посадочного места, м;

$$\lambda = \begin{cases} 0,5, & \text{когда } h < 0,015 \text{ м;} \\ 1,0, & \text{когда } h \geq 0,015 \text{ м;} \end{cases}$$

$$c = \begin{cases} 1,0, & \text{когда } h < 0,015 \text{ м;} \\ -1,0, & \text{когда } h \geq 0,015 \text{ м;} \end{cases}$$

$\sigma_p, \sigma_{сж}$ - пределы прочности на одноосное растяжение и сжатие, соответственно, Па;

$$\chi = \sigma_p / \sigma_{сж};$$

$k = 0,4 - 0,5$ - для хрупких пород;

$k = 0,6 - 0,9$ - для вязких пород.

Формулы определения усилий на коническом дисковом инструменте в уступном режиме разрушения были построены для условий, когда глубина внедрения $h \leq L$, где L - высота уступа.

В таблице 1 приведены зависимости влияния режимных параметров на силовые показатели конических дисковых инструментов в условиях уступного свободного режима разрушения.

В таблице 1 под №1 приведены зависимости нагруженности конических дисковых инструментов от глубины внедрения h ($D = 0,16$ м; $\varphi = 35^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $t_p = 0,04$ м; $\rho = 0,0005$ м; $k = 0,5$; $\chi = 0$).

Анализ приведенных зависимостей показывает, что увеличение глубины внедрения h от 0,01 м до 0,025 м приводит к возрастанию усилия перекачивания P_z в 2,54 раза, а усилия подачи P_y в 1,53 раза.

В таблице 1 под №2 показано изменение нагруженности на коническом дисковом инструменте в зависимости от шага разрушения t_p ($D = 0,16$ м; $\varphi = 35^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\rho = 0,0005$ м; $h = 0,025$ м; $\chi = 0$; $k = 0,5$).

Таблица 1 - Зависимости режимных параметров на силовые показатели

N	t_p	h , м	P_z , кН	P_y , кН
1	0,04	0,010	3,478	13,471
		0,015	5,246	16,312
		0,020	7,035	18,613
		0,025	8,845	20,554
2	0,03	0,025	7,660	17,800
	0,04		8,845	20,554
	0,05		9,889	22,980
	0,06		10,833	25,173

Из анализа приведенных зависимостей следует, что возрастание шага разрушения t_p от 0,03 м до 0,06 м приводит к увеличению в 1,41 раза нагруженности на коническом дисковом инструменте.

В таблице 2 под №1 показаны зависимости нагруженности конических дисковых инструментов от диаметра инструмента D ($\varphi = 30^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\rho = 0,0005$ м; $h = 0,015$ м; $\sigma_{сж} = 25,0$ МПа; $\chi = 0$; $k = 0,5$). Нетрудно видеть, что диаметр конического дискового инструмента в условиях уступного свободного режима разрушения практически не оказывает влияния на усилие перекачивания P_z , а усилие подачи P_y возрастает в 1,20 раза при увеличении диаметра D от 0,14 м до 0,20 м.

В таблице 2 под №2 даны данные, показывающие изменение нагруженности на дисковых инструментах в зависимости от угла заострения φ ($D = 0,16$ м; $\rho = 0,0005$ м; $\gamma = 0^\circ$; $h = 0,02$ м; $t_p = 0,05$ м; $\chi = 0$; $k = 0,5$).

Таблица 2 - Зависимости геометрических параметров на силовые показатели

N	D , м	φ , град	P_z , кН	P_y , кН
1	0,14	30	4,383	12,651
	0,16		4,372	13,593
	0,18		4,364	14,473
	0,20		4,357	15,303
2	0,16	30	6,856	18,140
		35	7,865	20,810
		40	8,814	23,321
		45	9,696	25,654

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что разработанный метод расчета нагрузок на конических дисковых инструментах позволяет проводить инженерные расчеты усилий на конических дисковых инструментах проходческих комбайнов в условиях уступного свободного режима разрушения и выбирать рациональные геометрические и режимные параметры конических дисковых инструментов.

Список литературы

1. Хорешок А.А. Расширение области применения проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Ю.Г. Полкунов и др. - Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 2000. - 36 с.
2. Полкунов Ю.Г., Спиридонова Е.В. Математическое моделирование нагруженности конических дисковых инструментов // Научно-технический вестник Поволжья. - 2017. - №4. - С. 168-171.
3. Полкунов Ю.Г., Лобода М.Ю. Математическое моделирование усилий на конических дисковых инструментах при разрушении крепких пород // Научно-технический вестник Поволжья. - 2018. - № 8. - С.88-91.

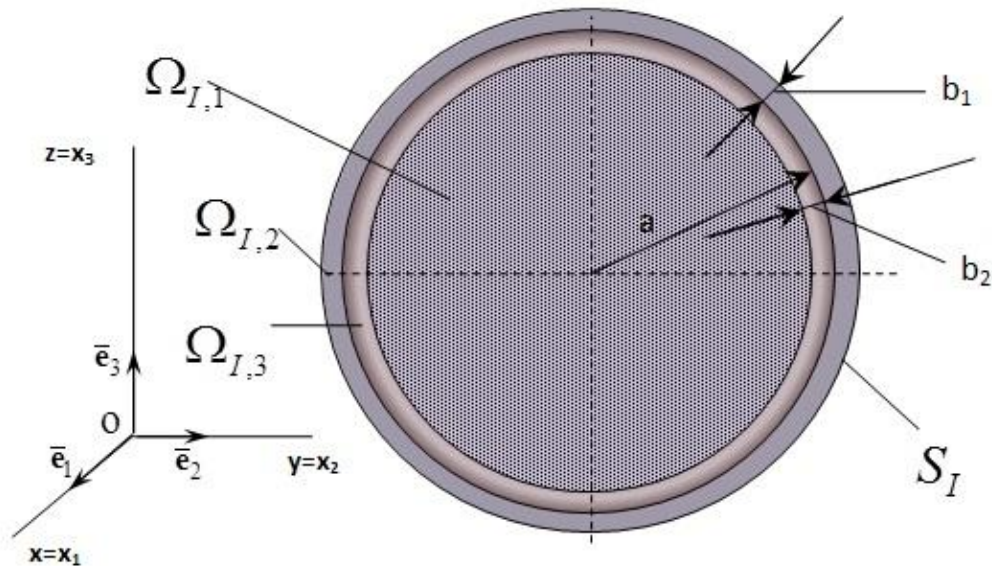


Рис. 2. – Включение в виде изотропного элемента с заданными механическими характеристиками, покрытого внешней изотропной пленкой постоянной толщины b_1 и переходным слоем постоянной толщины b_2

Уравнения равновесия представительного объема гетерогенного ДАПКМ (рис. 1) с граничными условиями в безразмерном виде суть следующие (по повторяющимся индексам проводится суммирование):

$$\frac{\partial(\sigma^{kq}\bar{e}_k)}{\partial x_q} = 0, \bar{x} \in \Omega_M \cup \left(\bigcup_{i=1}^3 \Omega_{I,i} \right), \bar{x} = x_i \bar{e}_i,$$

$$\sigma^{qk} = C^{qkij}(\bar{x}) \varepsilon_{ij}(\bar{x}), \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (1)$$

где $C^{qkij}(\bar{x})$ - безразмерный тензор модулей упругости (λ, μ - параметры Ламе, δ_{ij} - символ Кронекера) отнесенный к параметру ламе матрицы λ_M , задаваемый как

$$C^{qkij}(\bar{x}) = \bar{\lambda} \delta_{qk} \delta_{ij} + \bar{\mu} (\delta_{qi} \delta_{kj} + \delta_{qj} \delta_{ki}),$$

$$\bar{\lambda} = \begin{cases} 1, & \bar{x} \in \Omega_M, \\ \bar{\lambda}(\bar{x})_{1(2,3)}, & \bar{x} \in \Omega_{I,1(2,3)}, \end{cases} \quad \bar{\mu} = \begin{cases} \mu_M / \lambda_M, & \bar{x} \in \Omega_M, \\ \bar{\mu}(\bar{x})_{1(2,3)}, & \bar{x} \in \Omega_{I,1(2,3)}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\lambda(\bar{x}) = \frac{\nu(\bar{x})E(\bar{x})}{(1+\nu(\bar{x}))(1-2\nu(\bar{x}))}, \mu(\bar{x}) = \frac{E(\bar{x})}{2(1+\nu(\bar{x}))},$$

где $E(\bar{x}), \nu(\bar{x})$ - модуль Юнга и коэффициент Пуассона материалов; ε_{ij} - компоненты тензора малых деформаций; u_i - компоненты вектора перемещений, отнесенные к характерному размеру представительного объема $L = L_1$ (рис. 1), σ^{qk} - безразмерные компоненты тензора напряжений, отнесенные к параметру ламе матрицы λ_M , $\bar{x}$ - безразмерный вектор координат, отнесенный к характерному размеру представительного объема L .

К уравнениям (1) добавим граничные условия и условия сопряжения вида

$$\sigma^{qk} \bar{\mathbf{e}}_k n_q^p = \bar{\mathbf{P}}_n, \quad \bar{\mathbf{x}} \in S_p, \quad (3)$$

$$\bar{\mathbf{u}} = 0, \quad \bar{\mathbf{x}} \in S_u, \quad (4)$$

$$\left[\sigma^{qk} \bar{\mathbf{e}}_k n_q^I \right]_{S_I} = 0, \quad [\bar{\mathbf{u}}]_{S_I} = 0, \quad \bar{\mathbf{x}} \in S_I, \quad (5)$$

где операция $[\cdot]_{S_I}$ - означает разность односторонних пределов вектора на границе раздела матрицы и изотропной пленки S_I (рис. 2) (в областях $\Omega_{I,1}, \Omega_{I,2}, \Omega_{I,3}$ механические характеристики меняются непрерывно), n_q^I - компоненты единичной внешней нормали на поверхности S_I .

Представительный объем гетерогенного ДАПКМ представляет собой регулярную периодическую вдоль координат X_1, X_2, X_3 структуру (рис. 1). При этом поперечные размеры ячейки l_1, l_2, l_3 (рис. 1) много меньше общих размеров представительного объема L_1, L_2, L_3 вдоль соответствующих осей координат. При смещении ячейки вдоль координат X_1, X_2, X_3 соответственно на длины l_1, l_2, l_3 ячейка переходит в саму себя.

В соответствии с методологией работы [1] введем «быстрые» переменные ξ_1, ξ_2, ξ_3 которые определяют локальное изменение параметров напряженно – деформированного состояния (НДС) ДАПКМ при внешнем нагружении. Связь «быстрых» и «медленных» переменных будем представлять как

$$\xi_1 = \frac{x_1}{\varepsilon}, \quad \xi_2 = \frac{x_2}{\varepsilon}, \quad \xi_3 = \frac{x_3}{\varepsilon}, \quad \varepsilon = \frac{l_1}{L_1}. \quad (6)$$

Тогда область, занятую ячейкой периодичности (ЯП) и представленную на рис. 3, можно описать следующим образом ($\tilde{a} = a / \varepsilon, \tilde{b}_i = b_i / \varepsilon, i = 1, 2$)

$$\begin{aligned} \Omega_{\xi,1} &= \left[(\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq (\tilde{a} - \tilde{b}_2)^2 \right], \\ \Omega_{\xi,2} &= \left[\tilde{a}^2 \leq (\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq (\tilde{a} + \tilde{b}_1)^2 \right], \\ \Omega_{\xi,3} &= \left[(\tilde{a} - \tilde{b}_2)^2 \leq (\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2) \leq \tilde{a}^2 \right], \quad \Omega_{\xi,4} = \bigcup_{i=1}^3 \Omega_{\xi,i}, \\ \Omega_{\xi,5} &= \left[|\xi_1| \leq \frac{k_1}{2} \right] \times \left[|\xi_2| \leq \frac{1}{2} k_2 \right] \times \left[|\xi_3| \leq \frac{1}{2} k_3 \right], \quad k_i = \frac{l_i}{l_1}, \quad i = \overline{1,3}, \\ \Omega_{\xi,M} &= \Omega_{\xi,5} / \Omega_{\xi,4}, \quad \Omega_{\xi} = \Omega_{\xi,1} \cup \Omega_{\xi,2} \cup \Omega_{\xi,3} \cup \Omega_{\xi,M}. \end{aligned} \quad (7)$$

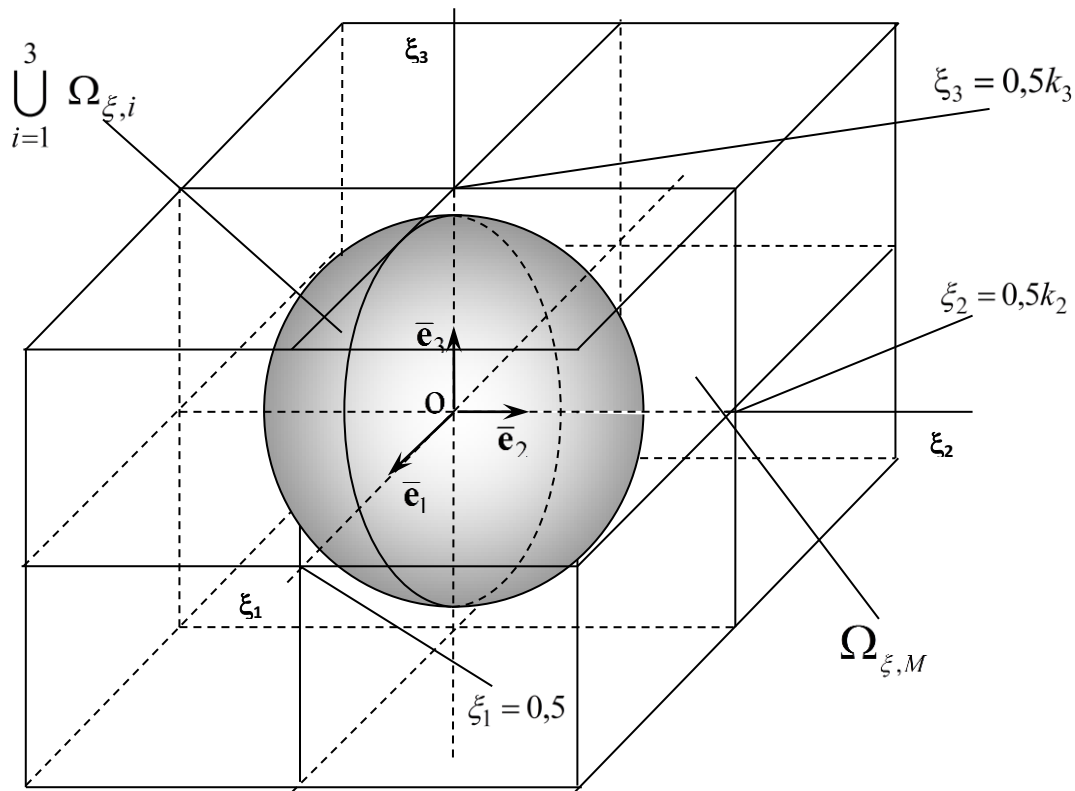


Рис. 3 – Область Ω_{ξ} , занятая ячейкой периодичности

Уравнения равновесия (1) с учетом симметрии тензора модулей упругости $C^{qkij} = C^{qkji}$ и его периодичности преобразуем к виду

$$\frac{\partial}{\partial x_q} \left(C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \bar{e}_k \right) = 0, \bar{x} \in \Omega_M \cup \sum_I (\Omega_{I,1} \cup \Omega_{I,2} \cup \Omega_{I,3}), \quad (8)$$

Решение системы (1) - (8) в соответствии с методологией [1] будем искать в виде

$$u_i(\bar{x}, \bar{\xi}) = u_i^{(0)}(\bar{x}, \bar{\xi}) + \varepsilon u_i^{(1)}(\bar{x}, \bar{\xi}) + O(\varepsilon^2). \quad (9)$$

и положим, что $u_i^{(0)}(\bar{x}, \bar{\xi}) \equiv u_i^{(0)}(\bar{x})$ (не зависит от «быстрых» переменных $\bar{\xi}$), а функция $u_i^{(1)}(\bar{x}, \bar{\xi})$ представляется как [1]

$$u_i^{(1)}(\bar{x}, \bar{\xi}) = N_{rm}^i(\bar{\xi}) \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_r},$$

где матрица - функция $N_{rm}^i(\bar{\xi})$ - периодическая вдоль координат ξ_1, ξ_2, ξ_3 . Тогда после подстановки представления (9) в (8) и в граничные условия (3) – (5) и группировки слагаемых при одинаковых степенях ε , получим (полагая переменные $\bar{x}, \bar{\xi}$ независимыми)

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial \xi_q} \left(C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_r} \bar{e}_k + \\ & + \varepsilon^0 \left(C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} + \frac{\partial}{\partial \xi_q} \left(C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) \right) \frac{\partial^2 u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_p \partial x_r} \bar{e}_k + O(\varepsilon) = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\left(C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{x})}{\partial x_r} \bar{e}_k n_q^p + O(\varepsilon) = \bar{P}_n, \bar{x} \in S_p, \quad (11)$$

$$\left(u_i^{(0)}(\bar{\mathbf{x}}) + \varepsilon N_{rm}^i(\bar{\xi}) \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{\mathbf{x}})}{\partial x_r} \right) \bar{\mathbf{e}}_i = 0, \bar{\mathbf{x}} \in S_u, \quad (12)$$

$$\left[\left(C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) \bar{\mathbf{e}}_k n_q^I \right]_{S_I} = 0, [N_{rm}^i(\bar{\xi}) \bar{\mathbf{e}}_i]_{S_I} = 0, \bar{\mathbf{x}} \in S_I, \quad (13)$$

Введем операцию осреднения

$$\langle \cdot \rangle_{\xi} = \frac{1}{\Omega_{\xi}} \int_{\Omega_{\xi}} (\cdot) ds. \quad (14)$$

Потребуем, чтобы функция $N_{rm}^i(\bar{\xi})$ удовлетворяла системе уравнений вида [1]

$$\frac{\partial}{\partial \xi_q} \left(C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) = 0, \bar{\xi} \in \Omega_{\xi} \quad (15)$$

с условиями сопряжения (13), условиями периодичности

$$\begin{aligned} \llbracket N_{rm}^i \rrbracket_1 &\equiv N_{rm}^i \left(\xi_1 = \frac{1}{2}, \xi_2, \xi_3 \right) - N_{rm}^i \left(\xi_1 = -\frac{1}{2}, \xi_2, \xi_3 \right) = 0, \\ \llbracket N_{rm}^i \rrbracket_2 &= \left(\xi_1, \xi_2 = \frac{1}{2} k_2, \xi_3 \right) = N_{rm}^i \left(\xi_1, \xi_2 = -\frac{1}{2} k_2, \xi_3 \right) = 0, \\ \llbracket N_{rm}^i \rrbracket_3 &= \left(\xi_1, \xi_2, \xi_3 = \frac{1}{2} k_3 \right) = N_{rm}^i \left(\xi_1, \xi_2, \xi_3 = -\frac{1}{2} k_3 \right) = 0, \end{aligned} \quad (16)$$

и условиями нормировки

$$\langle N_{rm}^i(\bar{\xi}) \rangle_{\xi} = \frac{1}{\Omega_{\xi}} \int_{\Omega_{\xi}} N_{rm}^i(\bar{\xi}) ds = 0. \quad (17)$$

Задача (7), (13), (15) - (17) - задача на ЯП [1].

Первое слагаемое (10) с учетом (15) равно нулю, а второе равно нулю с погрешностью $O(\varepsilon)$

$$\begin{aligned} \left(\tilde{C}^{qkmr}(\bar{\xi}) + \frac{\partial}{\partial \xi_q} \left(C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) \right) \frac{\partial^2 u_m^{(0)}(\bar{\mathbf{x}})}{\partial x_p \partial x_r} \bar{\mathbf{e}}_k &= 0, \\ \tilde{C}^{qkmr}(\bar{\xi}) &= C^{qkmr}(\bar{\xi}) + C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j}. \end{aligned} \quad (18)$$

Подействуем на соотношение (18) операцией осреднения (14). Тогда с учетом периодичности функции $N_{rm}^i(\bar{\xi})$ и компонент тензора модулей упругости $C^{qkij}(\bar{\xi})$ получим

$$\frac{\partial}{\partial x_q} \left(\hat{C}^{qkmr} \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{\mathbf{x}})}{\partial x_r} \right) = 0, \quad \hat{C}^{qkrm} = \langle \tilde{C}^{qkmr}(\bar{\xi}) \rangle_{\xi}, \quad (19)$$

где $\hat{C}^{qkrm}$ - компоненты тензора модулей упругости гомогенного ДАПКМ. Осредненное уравнение равновесия (19) дополним осредненными граничными условиями. Для этого подействуем на правые и левые части (11), (12) операцией осреднения (14). В результате получим макромеханическую задачу по определению НДС гомогенной среды с эффективными упругими характеристиками

$$\hat{C}^{qkrm} \frac{\partial u_m^{(0)}(\bar{\mathbf{x}})}{\partial x_r} \bar{\mathbf{e}}_k n_q^p = \bar{\mathbf{P}}_n, \bar{\mathbf{x}} \in S_p,$$

$$u_i^{(0)}(\bar{\mathbf{x}})\bar{\mathbf{e}}_i = 0, \bar{\mathbf{x}} \in S_u.$$

Решение задачи на ЯП представим в виде

$$N_{rm}^i(\bar{\xi}) = N_{(0)rm}^i(\bar{\xi}) + \delta N_{rm}^i(\bar{\xi}), \quad (20)$$

где $N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})$ - периодическая матрица – функция решения задачи на ЯП без внешней изотропной пленки постоянной толщины и переходного слоя ($b_1 = b_2 = 0$), $\delta N_{rm}^i(\bar{\xi})$ - периодическая матрица – функция решения задачи на ЯП за счет возмущения, вносимого этими элементами включения. Тогда после подстановки (20) в (18), (19) компоненты тензора модулей упругости гомогенного ДАПКМ представятся как

$$\hat{C}^{qkrm} = \hat{C}_{(0)}^{qkrm} + \delta \hat{C}_{(0)}^{qkrm} + \left\langle C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_{\xi}, \quad (21)$$

где $\hat{C}_{(0)}^{qkrm}$ - тензор эффективных модулей упругости ДАПКМ без внешней изотропной пленки постоянной толщины и переходного слоя включения

$$\begin{aligned} \hat{C}_{(0)}^{qkrm} = & \frac{1}{\Omega_{\xi}} \left(\int_{(\Omega_{\xi,1} \cup \Omega_{\xi,3})} \left(C_{I,1}^{qkmr} + C_{I,1}^{qkij} \frac{\partial N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) d\sigma + \right. \\ & \left. + \int_{(\Omega_{\xi,5} / (\Omega_{\xi,1} \cup \Omega_{\xi,3}))} \left(C_M^{qkmr} + C_M^{qkij} \frac{\partial N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right) d\sigma \right), \end{aligned} \quad (22)$$

$\delta \hat{C}_{(0)}^{qkrm}$ - возмущение эффективного тензора за счет отклонения локальных тензоров от

тензора матрицы в областях $\Omega_{\xi,2}, \Omega_{\xi,3}$

$$\begin{aligned} \delta \hat{C}_{(0)}^{qkrm} = & \frac{1}{\Omega_{\xi}} \left(\int_{\Omega_{\xi,2}} \left(C_{I,2}^{qkij} - C_M^{qkij} \right) \frac{\partial N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} d\sigma + \right. \\ & \left. + \int_{\Omega_{\xi,3}} \left(C^{qkij}(\bar{\xi}) - C_{I,1}^{qkij} \right) \frac{\partial N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} d\sigma \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Для матрицы – функции $\delta N_{rm}^i(\bar{\xi})$ в соответствии с представлением (20) имеем соотношение

$$\int_{(\Omega_{\xi,1} \cup \Omega_{\xi,3})} C_{I,1}^{qkij} \frac{\partial \delta N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} d\sigma + \int_{(\Omega_{\xi,5} / (\Omega_{\xi,1} \cup \Omega_{\xi,3}))} C_M^{qkij} \frac{\partial \delta N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} d\sigma = 0$$

из которого следует

$$\begin{aligned} \left\langle C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial \delta N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_{\xi} = & \frac{1}{\Omega_{\xi}} \left(\int_{\Omega_{\xi,2}} \left(C_{I,2}^{qkij} - C_M^{qkij} \right) \frac{\partial \delta N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} d\sigma + \right. \\ & \left. + \int_{\Omega_{\xi,3}} \left(C^{qkij}(\bar{\xi}) - C_{I,1}^{qkij} \right) \frac{\partial \delta N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} d\sigma \right). \end{aligned} \quad (24)$$

Можно показать, что на основании (23) и (24) при малых длинах, $\tilde{b}_i$ ($i = 1, 2$) по

сравнению с $\tilde{a}$ возмущением $\left\langle C^{qkij}(\bar{\xi}) \frac{\partial \delta N_{rm}^i(\bar{\xi})}{\partial \xi_j} \right\rangle_{\xi}$ можно пренебречь по сравнению с $\delta \hat{C}_{(0)}^{qkrm}$ и в правой части (21) в первом приближении можно оставить (22) и (23), вычисленные с помощью матрицы – функции $N_{(0)rm}^i(\bar{\xi})$.

Таким образом, задача гомогенизации упругих свойств ДАПКМ сведена к задаче по определению решения на ЯП для периодических функций от «быстрых» переменных без внешней изотропной пленки постоянной толщины и переходного слоя на включении и на его основе вычисления эффективных модулей упругости ДАПКМ. При этом для определения возмущения эффективных модулей упругости за счет нанесения внешней пленки и переходного слоя достаточно использовать периодические функции от «быстрых» переменных «невозмущенной» задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020 (номер темы fzsu-2020-0021).

Список литературы

1. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, 1984. 352 с.
2. Победра Б.Е. Механика композиционных материалов. М.: МГУ, 1984. 336 с.
3. Санчес-Паленсия Э. Неоднородные среды и теория колебаний : пер. с англ. М.: Мир, 1984. 471 с.
4. Димитриенко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. М.: Машиностроение, 1997. 356 с. 10.7463/1112.0496336 494
5. Димитриенко Ю.И., Соколов А.П. Разработка автоматизированной технологии вычисления эффективных упругих характеристик композитов методом асимптотического осреднения // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Естественные науки. 2008. № 2. С. 57-67.
6. Димитриенко Ю.И., Соколов А.П. Автоматизация прогнозирования свойств композиционных материалов на основе метода асимптотического осреднения // Информационные технологии. 2008. № 8. С. 31-38.
7. Соколов А.П., Шпакова Ю.В., Першин А.Ю. Проектирование и разработка распределенной вычислительной системы инженерного анализа свойств композиционных материалов // Материалы IX Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2012). Алушта, Украина: Московский Авиационный Институт, 2012. С. 518-521.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)**

05.13.19

^{1,2}**В.В. Семенов, ²С.А. Арустамов д-р техн. наук**¹Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
лаборатория интеллектуальных систем,²Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
Санкт-Петербург, semenov@itmo.ru, saarustamov@itmo.ru**ОБОБЩЁННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ
СИСТЕМ, УЧИТЫВАЮЩАЯ РИСКИ НАРУШЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Предложена обобщённая модель профиля функционирования киберфизических систем, учитывающая риски нарушений информационной безопасности. Проведён эксперимент с прототипом беспилотного транспортного средства в качестве исследуемой киберфизической системы. На примере прототипа беспилотного транспортного средства получены экспериментальные зависимости проекций ускорения для состояний, в которых моделировались различные риски нарушений информационной безопасности.

Ключевые слова: киберфизические системы, выявление рисков, информационная безопасность.

Введение.

Цифровая трансформация промышленности и повседневных сфер жизнедеятельности человека, развитие беспроводных сетей, сенсорных и облачных технологий привели к широкому распространению киберфизических систем (далее КФС), автономно от человека реализующих физические процессы посредством обмена данными друг с другом [1].

Возможность информационного воздействия, влекущего серьёзные или даже катастрофические последствия, делает КФС очень привлекательной мишенью для попыток проведения различного рода атак [2]. Рост числа КФС, их применение на производствах, в интеллектуальных транспортных системах и других отраслях вызывает необходимость обеспечения требуемого уровня безопасности выполняемых процессов. Множество работ современных исследователей посвящено выявлению и анализу рисков ИБ КФС [3].

Постановка задачи.

Эффективные решения в области информационной безопасности связаны с развитием научно-методического аппарата, направленного на повышение качественных показателей выявления рисков нарушений ИБ, вследствие чего возникает необходимость разработки моделей функционирования КФС, учитывающих риски ИБ, характерные для исследуемого типа КФС. Разрабатываемая модель должна описывать взаимосвязь состояний КФС, рисков ИБ, соответствующих каждому состоянию, и цифровых сигналов, при помощи которых производится идентификация состояний.

Предлагаемый подход.

КФС реализует заранее определённые её техническими особенностями функции и представляет собой замкнутую систему, в которой протекает конечное множество физических процессов. Для целей выявления рисков нарушений ИБ КФС предлагается анализировать цифровые сигналы, отражающие состояние системы или её отдельных компонентов. Управляющие сигналы вызывают определенные изменения состояния системы, фиксируемые на основе различных каналов получения сигнальной информации.

$S = \{s1, \dots, sk\}$ – множество рассматриваемых состояний (режимов работы) КФС, среди которых существуют как относительно безопасные, так и небезопасные (ассоциированные с рисками информационной безопасности) состояния. Важно отметить, что нарушение информационной безопасности с высокой вероятностью вызывает и нарушение функционала КФС. Каждое состояние характеризуется определённым риском нарушения ИБ.

Датчик – это электронное устройство, которое измеряет физические свойства КФС или ее рабочей среды. $D = \{D1, D2, \dots, Dn\}$ – множество датчиков, доступных для получения информации от КФС. Например, датчик температуры пациента (медицинские КФС), датчик угла разворота манипулятора, наклонометры, газоанализаторы (промышленные КФС), радары, лидары у беспилотных транспортных средств (БТС).

Системой выявления рисков нарушений ИБ регистрируются управляющие (активные) сигналы Hac , задаваемые оператором или управляющей программой, порождаемые управляющими (пассивные) сигналы Hp , связанные с конкретными физическими процессами, например, давление, масса, скорость, ускорение, видеоизображение, электропроводность, химический состав, освещённость, геопозиция, а также сигналы $Hside$, не имеющие отношения к управлению КФС и получаемые на основе сигналов побочных каналов при осуществлении функционирования КФС. К таким сигналам, например, можно отнести вибрации, акустику, изменения мощности, напряжения, электромагнитные излучения.

$$M = \langle Hac, Hp, Hside \rangle \quad (1)$$

Каждому состоянию si из множества S поставлено в соответствие некоторое подмножество Ri из множества рисков нарушений информационной безопасности КФС $R = \{r1, r2, \dots, ri\}$. Цифровые сигналы с датчиков формируют n временных рядов $X = \{\{x1(t1), x1(t2), \dots, x1(tm)\}, \{x2(t1), x2(t2), \dots, x2(tm)\}, \{xn(t1), xn(t2), \dots, xn(tm)\}\}$, представляющих собой синхронизированные по времени множества значений сигналов с различных датчиков.

Каждый риск связан с набором угроз КФС, для исследуемого в эксперименте прототипа БТС, возможные угрозы нарушений ИБ приведены в таблице.

Таблица – Возможные угрозы ИБ на примере прототипа БТС

R	Фактор риска ИБ	Последствие
$r1$	Перехват аутентификационных данных законного владельца	Несанкционированный доступ от имени законного владельца
$r2$	Подмена управляющих сигналов	Полная или частичная потеря контроля над прототипом БТС, столкновение
$r3$	Искажение сигналов, управляющих траекторией БТС	
$r4$	Искажение сигналов датчиков, отслеживающих состояние БТС	Несоответствие сигналов датчиков реальному состоянию (нахождению) БТС
$r5$	Деграция эксплуатационных характеристик	Повышенный износ узлов БТС, ухудшение управляемости
$r6$	Несанкционированное изменение ПО, изменяющее параметры эксплуатации БТС	Повышенный износ узлов БТС, потеря управления, возможное столкновение

Различные с функциональной точки зрения состояния КФС могут обладать схожими рисками нарушений ИБ.

На основе предложенной модели будем считать, что:

- состояния sa и sb являются эквивалентно уязвимыми, если мощности подмножеств Ra и Rb равны;
- состояние sa является более уязвимым, чем состояние sb , если мощность подмножества Ra больше, чем Rb ;
- состояние sa является менее уязвимым, чем состояние sb , если мощность подмножества Ra меньше, чем Rb .

Эксперимент.

С целью практической реализации предложенной модели был проведён эксперимент с использованием различных каналов получения сигнальной информации от прототипа БТС. Перехват и подмена управляющего сигнала приводили к потере контроля над прототипом БТС со стороны легитимного контура управления. На основе анализа цифровых сигналов с применением модели и методов машинного обучения формировался вывод о том, на сколько характер движения соответствовал безопасному, а в случае выявления риска нарушения ИБ производилось реагирование системы или корректировка управляющих воздействий.

Исследовалось шесть различных состояний, три из которых были штатными, а в остальных трёх моделировались различные риски нарушений ИБ. В качестве примера демонстрации подхода сравним состояния $s1$ и $s2$. На рисунке 1 представлен график проекций ускорения по трём осям для состояния $s1$ – движение прототипа БТС вперёд. Состоянию $s1$ соответствует множество рисков $R1 = \{r1, r6\}$.

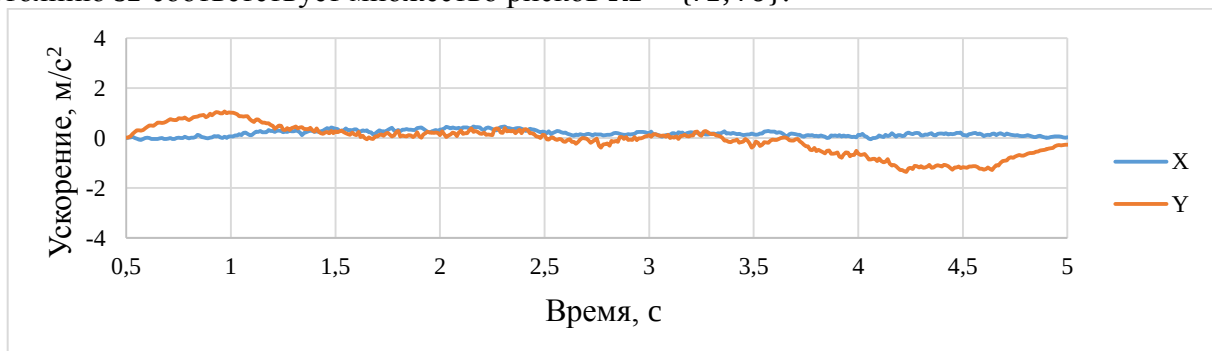


Рис. 1 – График проекций ускорения для состояния $s1$

Небезопасные состояния, определяющие реализацию риска нарушений ИБ с функциональной точки зрения характеризуются тем, что манёвр, выполняемый БТС в промежуток времени, отличается от определённого программой или с пульта управления. На рисунке 2 показан график проекций ускорения для случая, в котором моделировались нарушения ИБ.

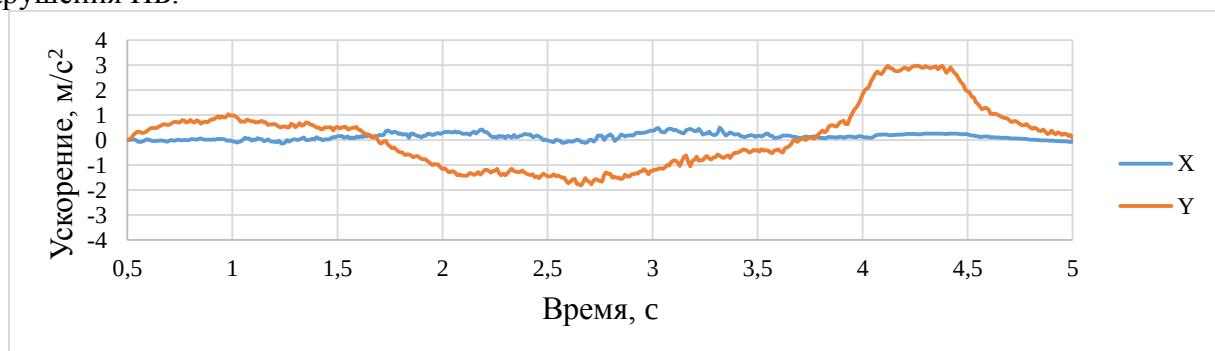


Рис. 2 – График проекций ускорения для состояния $s2$

Прототип БТС осуществлял движение вперёд с ускорением, при реализации риска $r2$ и внесении злоумышленником команды «назад» была произведена остановка с последующим движением задним ходом, затем ещё одна остановка и быстрый рывок вперёд. Состоянию $s2$ соответствует множество рисков $R2 = \{r1, r2, r3, r6\}$.

Таким образом, с функциональной точки зрения различные состояния $s1$ и $s2$ с точки зрения информационной безопасностью характеризуются частично схожими рисками ИБ, при этом согласно предложенной модели состояние $s2$ является более уязвимым, чем состояние $s1$. Следующим этапом (дальнейшим применением предложенной обобщённой модели) является классификация сформированных данных при помощи методов машинного обучения для получения качественной оценки принадлежности временного ряда цифровых сигналов к одному из известных состояний и определение уровня уязвимости состояния на основе мощности множества его рисков.

Заключение.

В работе на примере прототипа БТС показано экспериментальное применение предложенной обобщённой модели функционирования КФС, учитывающей риски нарушений информационной безопасности. При необходимости модель может быть упрощена или дополнена новыми параметрами, характерными для конкретного типа КФС. К преимуществам предложенной обобщённой модели можно отнести параметризуемость и возможность применения различного математического аппарата и методов машинного обучения для достижения требуемой эффективности работы системы мониторинга рисков информационной и функциональной безопасности контролируемого объекта КФС.

Список литературы

1. Семенов В.В. Мониторинг информационной безопасности беспилотных транспортных средств с использованием цифрового акселерометра // Информационные технологии – 2020. – Т. 26. – № 7. – С. 424-430.
2. Семенов В.В., Лебедев И.С. Обработка сигнальной информации в задачах мониторинга информационной безопасности автономных объектов беспилотных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2019. – Т. 19. – № 3(121). – С. 492-498.
3. Зегжда Д.П., Павленко Е.Ю. Гомеостатическая стратегия безопасности киберфизических систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2017. № 3. С. 9–23.

АННОТАЦИИ
ABSTRACTS

В.С. Минкин, А.В. Репина, Т.Ю. Старостина, Р.Х. Шагимуллин
СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРОВ ЯМР СО СТРУКТУРОЙ
ВУЛКАНИЗАТОВ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ

Ключевые слова: полисульфидный олигомер (тиокол),
ПМР-спектры, физико-механические свойства.

В работе изучено влияние природы вулканизирующих агентов и структуры образующейся вулканизационной сетки вулканизатов жидких тиоколов (полисульфидных олигомеров-ПСО) на изменение параметров спектров ЯМР в широком температурном интервале.

V.S. Minkin, A.V. Repina, T.U. Starostina, R.Kh. Shagimullin
RELATIONSHIP BETWEEN THE PARAMETERS OF
NUCLEAR MRS WITH THE STRUCTURE OF
VULCANIZATES OF LIQUID THIOKOLS

Keywords: polysulfide oligomer (thiocol), PMR – spectra,
physicochemical characteristics.

In this work, the influence of the nature of curing agents and the structure of the resulting vulcanization network of vulcanizates of liquid thiols (polysulfide oligomers - PSO) on the change in the parameters of NMR spectra in a wide temperature range was studied.

Н.А. Ляпин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ
ПОРАЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАРАНТИРУЮЩЕГО
АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В ОПЕРАЦИИ ПЕРЕХВАТА
ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат,
гарантирующее управление, авиационное средство поражения,
эффективность.

Получен алгоритм гарантирующего управления траекторией беспилотного перехватчика на этапе его вывода в зону применения авиационных средств поражения. Представлены результаты моделирования, отражающие степень влияния маневренных возможностей беспилотного летательного аппарата на достижение им позиционного преимущества при различных вариантах расположения авиационных средств поражения на противоборствующих летательных аппаратах.

N.A. Lyapin

ASSESSMENT OF THE AIR-LAUNCHED WEAPONS
IMPACT ON THE EFFECTIVENESS OF THE UNMANNED
AERIAL VEHICLE CONTROL GUARANTEEING
ALGORITHM DURING THE AIR TARGET
INTERCEPTION

Keywords: unmanned aerial vehicle, guaranteeing control,
air-launched weapons, efficiency.

The unmanned interceptor trajectory guaranteeing control algorithm at the stage of its guiding into the zone of air-launched weapons use has been obtained. The results of the simulation reflecting the degree of impact of the unmanned aerial vehicle's maneuverable capabilities on it achieving positional advantage at various options of air-launched weapons location on the opposing aerial vehicles are shown.

С.В. Маков, И.И. Наумов, Д.Ю. Чернышов,
И.О. Гринев, А.Ю. Минаев

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ГЛАСНЫХ
ЗВУКОВ В ЗАШУМЛЕННОЙ РЕЧИ

Ключевые слова: обработка аудиоинформации, обработка речи,
зашумленная речь, выделение гласных, гласные звуки.

В работе рассматривается модификация метода автоматизированного выделения гласных звуков в зашумленной речи. Приводится описание алгоритма предлагаемой модификации, а также результаты проведенного эксперимента.

S.V. Makov, I.I. Naumov, D.Y. Chernishov,
I.O. Grinev, A.Y. Minaev

MODIFICATION OF THE METHOD OF EXTRACTING
VOICE SOUNDS IN NOISY SPEECH

Keywords: audio processing, speech processing, noisy speech,
vowel extraction, vowel sounds.

The paper considers a modification of the method for the automated extraction of vowels in noisy speech. The description of the algorithm of the proposed modification, and the results of the experiment, are given in this paper.

К.Н. Гавариева, Л.А. Симонова, В.В. Абрамова
НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ
КОЛЕС НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Ключевые слова: нечеткая логика, многоагентная система,
система управления, горячая объемная штамповка.

В статье рассматривается применение многоагентной системы в совокупности с нечеткой логикой для управления технологическим процессом прецизионной штамповки. Многоагентный подход состоит в представлении компонентов моделируемой системы в виде отдельных, относительно независимых объектов — интеллектуальных агентов, каждый из которых имеет свои цели и задачи. Нечеткая логика позволяет контролировать процесс в условиях неопределенности, которыми характеризуется прецизионная штамповка.

K.N. Gavarieva, L.A. Simonova, V.V. Abramova
FUZZY REGULATION OF THE PROCESS OF PRECISION
STAMPING OF GEARED BEADS ON THE BASIS OF
MULTI-AGENT APPROACH

Keywords: fuzzy logic, multi-agent system, control system, hot
die forging.

The article discusses the use of a multi-agent system in conjunction with fuzzy logic for controlling the process of precision stamping. The multi-agent approach consists in representing the components of the simulated system in the form of separate, relatively independent objects - intelligent agents, each of which has its own goals and objectives. Fuzzy logic allows you to control the process under the uncertainty that characterizes precision stamping.

М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов, В.А. Куклин, Е.А. Бобина
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНОЙ
ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ
УДАЛЕНИЯ НАЛЕДИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Ключевые слова: интегральная противообледенительная
система, управление нагревательным элементом.

Приведены результаты экспериментальных исследований

M.P. Danilaev, N.V. Dorogov, V.A. Kuklin, E.A. Bobina
THE EFFICIENCY OF ANTI-ICING INTEGRAL SYSTEM,
IN THE CYCLIC REGIME

Keywords: anti-icing integral system, heat element control.
The experimental studies results of the integral anti-icing system in the cyclic regime, is considered in that paper. The methodic of the times of the heating element turning on and off, which provide the greatest efficiency of such anti-icing system,

подтверждающих эффективность интегральной противообледенительной системы в режиме удаления наледи. Предложена методика определения циклограмм включения и выключения нагревательного элемента. Показано, что эффективность работы такой системы на ~20% выше по сравнению с существующими электротепловыми ПОС.

В.Д. Петелина

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, АНАЛИЗ ОСОБЫХ ТОЧЕК

Ключевые слова: система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.

Статья посвящена представлению возмущений первого порядка в прямоугольных координатах, составляющих регуляризированной скорости и времени движения исследуемого тела в виде многочленов по степеням некоторой регуляризирующей переменной, проведен анализ расположения и характера особых точек, доказана возможность представления координат и составляющих скорости движения в виде многочленов. Основной результат статьи – построение методики определения возмущений первого порядка в виде конечных многочленов. Такое представление прямоугольных координат, составляющих регуляризированной скорости удалось получить вследствие ряда последовательных замен независимой переменной.

**И.С. Замулин, А.А. Голубничий, Н.Д. Артёмова
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «АБИТУРИЕНТ» ВУЗА
ДЛЯ ОНЛАЙН-ЗАПИСИ В ПРИЕМНУЮ КОМИССИЮ**

Ключевые слова: приемная кампания, автоматизированные информационные системы, информационные технологии в организации учебного процесса.

В работе проанализирована принципиальная модель информационной системы приемной комиссии вуза, на примере Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, дано описание существующего модуля автоматизированной информационной системы по работе с абитуриентами, рассмотрена возможность автоматизации процесса записи абитуриентов для принятия документов в приемную комиссию вуза. Произведена реализация и внедрение рассматриваемого модуля в общую информационную систему вуза.

**М.А. Масюк, А.А. Попов, Е.В. Горшков
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ ПОДБОРА
ПАРОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
COLLECTION #1**

Ключевые слова: Collection #1, Brute Force, атака по словарю, парольная аутентификация.

В работе представлены подход и созданное для его апробации программное обеспечение, предназначенные для усовершенствования известных методов атак на парольные системы аутентификации, таких как Brute Force и атака по словарю. Подход основан на результатах статистического анализа множества Collection #1. Collection #1 – является одной из крупнейших за последнее время утечек данных пользователей, содержащей 2,7 миллиарда пар e-mail/пароль, 773 миллиона уникальных e-mail адресов и 21 миллион уникальных паролей. Работа может представлять практический и теоретический интерес для исследователей, занимающихся вопросами криптографии и анализа данных, разработчиков программного обеспечения.

are determined. It is shown that the efficiency of such control system is about 20% higher in comparing to existing control systems of the electrothermal anti-icing systems.

V.D. Petelina

**REGULARIZING OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF
PERTURBED MOTION OF A BODY,
ANALYSIS OF SPECIAL POINTS**

Keywords: system of differential equations of perturbed body locomotion, regularizing independent variable, perturbation, polynomial, approximation.

The paper is dedicated to the representation of first-order perturbances in Cartesian coordinates, of components of regularized velocity and time of the locomotion of the body under study as polynomials by degrees of a certain regularizing variable. An analysis of the arrangement and the character of special points was made, a proof was retrieved of a possibility to represent the coordinates and the velocity components as polynomials. The primary result of the paper was the construing of a method of 1st order perturbances identification as finite polynomials. Such representation of Cartesian coordinates and the regularized velocity components was successfully obtained due to a series of consequential substitutions of the independent variable.

**I.S. Zamulin, A.A. Golubnichiy N.D. Artemova
DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED INFORMATION
SYSTEM MODULE "ABITURIENT" FOR ONLINE
ENROLLMENT IN THE ADMISSION COMMISSION OF
THE UNIVERSITY (ON THE EXAMPLE OF KATANOV
KHAKASS STATE UNIVERSITY)**

Keywords: admission campaign, automated information systems, information technology in the educational process. The paper analyzes the fundamental model of the information system of the university admissions committee, using the example of Katanov Khakass State University, a description of the existing module of an automated information system for working with applicants is given, the possibility of automating the process of enrolling applicants for accepting documents to the admission committee of the university is considered. The implementation and introduction of the module under consideration into the general information system of the university was carried out.

**M.A. Masyuk, A.A. Popov, E.V. Gorshkov
DEVELOPMENT OF A SOFTWARE APPLICATION FOR
ESTIMATING EFFICIENCY OF PASSWORD SELECTION
STRATEGIES BASED ON STATISTICAL ANALYSIS
COLLECTION # 1**

Keywords: Collection #1, Brute Force, dictionary attack, password authentication.

The paper presents an approach and software created for testing it, designed to improve well-known methods of attacking password authentication systems, such as Brute Force and dictionary attack. The approach is based on the results of statistical analysis of the Collection # 1 set. Collection # 1 - is one of the largest user data leaks in recent years, containing 2.7 billion e-mail / password pairs, 773 million unique e-mail addresses and 21 million unique passwords. The work may be of practical and theoretical interest for both software developers and researchers involved in cryptography and data analysis.

О.Ю. Долматов, Р.С. Шурыгин, М.Д. Юрченко,
М.С. Кузнецов, В.В. Верхотурова
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В
РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ ВВЭР-1000
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
SOLIDWORKS

Ключевые слова: ВВЭР, элементарная ячейка, реактор,
моделирование.

В рамках данной работы представлены результаты теплогидравлического моделирования процессов теплообмена в элементарной ячейке ядерной установки ВВЭР-1000 с использованием САПР SolidWorks и показана возможность использования программы для моделирования переходных или аварийных процессов в данной установке. Рассчитанные характеристики с удовлетворительной точностью совпадают с имеющимися теоретическими, однако в дальнейшем необходима модернизация модели для получения более высокой точности расчетов.

Н.В. Иваницкая, А.К. Байбулов
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕБЕР
ЖЕСТКОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ ПЛОСКОГО КРУГЛОГО ДНИЩА

Ключевые слова: плоское днище, оребренное днище, ребра
жесткости, напряженно-деформированное состояние,
численный анализ, компьютерное моделирование

В статье представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) оребренных плоских днищ резервуаров, находящихся под избыточным внутренним давлением. Путем численного моделирования в программе ANSYS получены значения НДС в днищах резервуаров в зависимости от количества и расположения на них ребер жесткости.

В.И. Курир
ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА NX UNIGRAPHICS В УЧЕБНОМ
ПРОЦЕССЕ ВУЗА

Ключевые слова: NX, NX OPEN API.

В статье представлен один из модулей известной системы 3D графики NX UNIGRAPHICS – NX OPEN API. Данный модуль обеспечивает прямой программный интерфейс к системе NX, позволяя создавать приложения на языках программирования Basic, C и Java. Соответственно, позволяет проводить построение модели, детали в пакетном режиме. Автор доказывает необходимость совместного изучения студентами машиностроительных направлений пакета NX и модуля NX OPEN API.

Ю.Г. Полкунов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАГРУЖЕННОСТИ КОНИЧЕСКИХ ДИСКОВЫХ
ИНСТРУМЕНТОВ В УСТУПНОМ РЕЖИМЕ РАЗРУШЕНИЯ

Ключевые слова: конический дисковый инструмент, разрушение. Статья посвящена разработке математической модели нагруженности конических дисковых инструментов в уступном свободном режиме разрушения от геометрических размеров, режимных параметров и прочностных характеристик пород.

И.Н. Сидоров, А.И. Энская
АЛГОРИТМ ГОМОГЕНИЗАЦИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ
ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: дисперсно армированный полимерный композиционный материал, эффективные компоненты тензора модулей упругости, метод осреднения в периодических средах, задача на ячейке периодичности.

В статье представлена математическая модель и алгоритм гомогенизации упругих свойств дисперсно армированных полимерных композиционных материалов. Построена математическая модель локальной задачи упругости для

O.Yu. Dolmatov, R.S. Shurygin, M.D. Yurchenko,
M.S. Kuznetsov, V.V. Verkhoturova
SIMULATION OF THERMAL PROCESSES IN A VVER-
1000 REACTOR UNIT USING THE SOLIDWORKS
SOFTWARE COMPLEX

Keywords: VVER, SolidWorks, reactor, modeling.

The article presents the results of thermohydraulic modeling of heat and mass transfer processes in a nuclear unit VVER-1000 using SolidWorks CAD. The possibility of using the program for modeling transient or emergency processes in this installation is shown. The calculated characteristics coincide with the available theoretical ones with satisfactory accuracy; however, it is necessary to modernize the model to obtain a higher calculation accuracy.

N.V. Ivanitskaya, A.K. Baibulov
INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE
LOCATION OF STIFFENERS ON THE STRESS-STRAIN
STATE OF A FLAT ROUND HEAD

Keywords: flat head, finned head, stiffeners, stress-strain state, numerical analysis, computer modeling.

The article presents the results of a study of the stress-strain state of finned flat bottoms of tanks under excessive internal pressure. By numerical modeling in the ANSYS program, the VAT values in the tank bottoms are obtained depending on the number and location of the stiffeners on them.

V.I. Kurir
APPLICATION OF THE NX UNIGRAPHICS PACKAGE IN
THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

Keywords: NX, NX OPEN API.

The article presents one of the modules of the well-known 3D graphics system NX UNIGRAPHICS - NX OPEN API. This module provides a direct programming interface to the NX system, allowing you to create applications in the Basic, C and Java programming languages. Accordingly, it allows you to build a model, parts in batch mode. The author proves the need for students to study 3D graphics NX and the NX OPEN API module together.

Yu.G. Polkunov
MATHEMATICAL SIMULATION OF LOAD OF CONICAL
DISK TOOLS IN CONCESSION MODE OF DESTRUCTION

Keywords: Conical disc tool, destruction.

The article is devoted to development of mathematical model of loading of conical disk tools in the concession free mode of destruction from geometrical dimensions, operating parameters and strength characteristics of rocks.

I.N. Sidorov, A.I. Enskaya
ALGORITHM OF HOMOGENIZATION OF ELASTIC
PROPERTIES OF DISPERSEDLY REINFORCED
POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Keywords: particle-reinforced polymer composite material, effective components of the tensor of elastic moduli, averaging method in periodic media, problem on the periodicity cell.

The article presents a mathematical model and an algorithm for homogenizing the elastic properties of dispersed reinforced polymer composite materials. A mathematical model of the local elasticity problem is constructed to determine the effective components of the elastic modulus tensors based on

определения эффективных компонент тензоров модулей упругости на основе метода осреднения в периодических средах. Предложен алгоритм определения влияния на эффективные компоненты внешней изотропной пленки на включение в полимерную матрицу изотропного элемента, а также переходного слоя, образовавшегося из-за диффузного проникновения материала пленки в материал включения.

В.В. Семенов, С.А. Арустамов

**ОБОБЩЁННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ, УЧИТЫВАЮЩАЯ РИСКИ
НАРУШЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Ключевые слова: киберфизические системы, выявление рисков, информационная безопасность.

Предложена обобщённая модель профиля функционирования киберфизических систем, учитывающая риски нарушений информационной безопасности. Проведён эксперимент с прототипом беспилотного транспортного средства в качестве исследуемой киберфизической системы. На примере прототипа беспилотного транспортного средства получены экспериментальные зависимости проекций ускорения для состояний, в которых моделировались различные риски нарушений информационной безопасности.

the averaging method in periodic media. An algorithm is proposed for determining the effect on the effective components of an external isotropic film on the inclusion of an isotropic element in the polymer matrix, as well as a transition layer formed due to diffuse penetration of the film material into the inclusion material.

V.V. Semenov, S.A. Arustamov

**GENERALIZED MODEL FOR CYBER-PHYSICAL
SYSTEMS FUNCTIONING THAT TAKES INTO ACCOUNT
RISKS OF INFORMATION SECURITY**

Keywords: cyber-physical systems, risk identification, information security.

The paper presents a generalized model of the profile of the functioning of cyber-physical systems, that takes into account risks of information security violations. An experiment with a prototype of an unmanned vehicle as an investigated cyber-physical system was described. On the example of a prototype of an unmanned vehicle, experimental dependences of acceleration projections for states in which were modeled various risks of information security violations were obtained.

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 "Рашин Сайнс" 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

**НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№9 2020

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732

Подписано в печать 30.09.2020 Формат А4. Печать цифровая.

Дата выхода в свет 30.09.2020

7,2 усл.печ.л. 8,6 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2950.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":

420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.

Цена свободная.

© Рашин Сайнс

тел. (843) 216-30-35

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Рашин Сайнс»