ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

PUBLISHING HOUSE «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ № 2

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES 2017

Журнал «Научное обозрение. Технические науки» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий, и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-57440

Учредитель, издательство и редакция: НИЦ «Академия Естествознания», почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Founder, publisher and edition: SPC «Academy of Natural History», post address: 105037, Moscow, p.o. box 47

Подписано в печать 17.08.2017
Дата выхода номера 17.09.2017
Формат 60x90 1/8

Типография НИЦ «Академия Естествознания», 410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Signed in print 17.08.2017
Release date 17.09.2017
Format 60x90 8.1

Typography SPC «Academy Of Natural History» 410035, Russia, Saratov, 5 Mamontovoi str.

Технический редактор Нестерова С.Г.
Корректор Андреев А.М.

Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2017/2

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.

М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено Академией Естествознания

From 2014 edition of the journal resumed by Academy of Natural History

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов **(A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова **(N.Yu. Stukova)**
М.Н. Бизенкова **(M.N. Bizenkova)**
Н.Е. Старчикова **(N.E. Starchikova)**
Т.В. Шнуровозова **(T.V. Shnurovozova)**

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2017 г.

В журнале представлены научные обзоры, статьи проблемного и научно-практического характера

The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ

ВИДЫ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Андреев С.Е., Воронов М.П. 5

ПАССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА
Бацева Д.А., Белов Ю.С. 11

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ И КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ
Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. 15

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДВИГАТЕЛЯМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Вольнов О.И. 29

СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА – НОВЫЙ ЭТАП ДИАЛОГА ЧЕЛОВЕКА С ПРИРОДОЙ
Воронов В.К., Геращенко Л.А. 34

ОБНАРУЖЕНИЕ ЧАСТИЧНО РАЗМЫТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ
Гуркина Е.Д., Белов Ю.С. 38

УГЛОВОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ТРЕХКОМПАНЕНТНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МАГНИТОМЕТРОВ
Иванов Ю.М., Семенов В.Г., Осипенко К.В. 42

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ RFID ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ
Исаев М.Д., Бузина Е.Е., Сокуренко В.В. 47

МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОЦЕНКЕ И КОРРЕКЦИИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ВО ВРЕДНЫХ УСЛОВИЯХ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Крекешева Т.И., Абдрахманова Н.Б., Еримбетов С.Т. 50

ПОГРУЖЕНИЕ, РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВАИ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ
Кужахметова Э.Р. 57

ВКЛАД ГРАНИЦ ЗЕРЕН С ФАСЕТИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ ВО ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ
Кульков В.Г. 65

МЕЖДУНАРОДНЫЕ РЕЙТИНГИ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ МИРА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
Левинзон С.В., Царькова Н.В. 72

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ
Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. 96

CONTENTS

TYPES OF SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS INTERACTIONS BETWEEN EDUCATIONAL ACTIVITY PARTICIPANTS
Andreev S.E., Voronov M.P. 5

PASSIVE TECHNOLOGIES OF HUMAN HEAD MODELING
Batseva D.A., Belov Y.S. 11

TECHNOLOGY OF PREPARATION AND PROPERTIES OF PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS AND COMPOSITIONS BASED ON THEM
Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. 15

SELECTION OF THE OPTIMUM METHOD OF MANAGEMENT OF HYDRO-ENGINES OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT
Volnov O.I. 29

THE MODERN PHYSICS-A NEW STAGE OF DIALOGUE OF MAN WITH NATURE
Voronov V.K., Gerashchenko L.A. 34

IMAGE PARTIAL BLUR DETECTION AND CLASSIFICATION
Gurkina E.D., Belov Y.S. 38

ANGULAR COORDINATION FOR TREE-AXIL DIFFERENTIAL MAGNETOMETERS
Ivanov Y.M., Semenov V.G., Osipenko K.V. 42

ACTUAL PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RFID TECHNOLOGIES IN RUSSIA
Isaev M.D., Buzina E.E., Sokyrenko V.V. 47

PREVENTIVE AND MANAGEMENT MEASURES ON EVALUATION AND CORRECTION OF ELEMENTAL STATUS OF WORKERS EMPLOYED IN HARMFUL WORKING CONDITIONS AT THE ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Krekesheva T.I., Erimbetov S.T., Abdrakhmanova N.B. 50

DIPPING, CALCULATION AND CONSTRUCTION OF THE MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE PILE OF THE CONICAL FORM
Kuzhakhmetova E.R. 57

CONTRIBUTION OF GRAIN BOUNDARIES WITH A FACETED STRUCTURE IN THE INTERNAL FRICTION
Kulkov V.G. 65

INTERNATIONAL RANKINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN THE WORLD. TECHNICAL SCIENCES. THE MODERN STATE
Levinzon S.V., Tsarkova N.V. 72

PRODUCTION TECHNOLOGY, PROPERTIES AND APPLICATIONS OF COMPOSITES BASED ON PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS
Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S. 96

УДК 004.65: 378

ВИДЫ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Андреев С.Е., Воронов М.П.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: mstrk@yandex.ru

Настоящий обзор посвящен анализу синхронных и асинхронных взаимодействий в рамках образовательной деятельности вуза. В настоящее время электронная информационно-образовательная среда стала необходимым условием для функционирования вуза. В связи с тем, что использование синхронных и асинхронных трактуется в ФГОС ВО как необходимое требование к электронной информационно-образовательной среде вуза, осуществляющего образовательную деятельность, тема данного исследования представляется актуальной. В данной работе рассмотрены преимущества и недостатки использования электронной информационно-образовательной среды в образовательной деятельности; приведены основные средства синхронных и асинхронных взаимодействий; представлена классификация программного обеспечения поддержки дистанционного обучения. Были изучены научные работы таких авторов как Ахаян, Зайченко, Иванченко, Часовских, Коваленко, Сатунина, Малитиков, Сараев, Полат, Федотов, Хусяинов, Хуторской, Юревич, Dias, Kats, Desmarais, Mayer, Nagy, Udaya, William.

Ключевые слова: электронная информационно-образовательная среда, синхронное взаимодействие, асинхронное взаимодействие, коммуникации, образовательная деятельность

TYPES OF SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS INTERACTIONS BETWEEN EDUCATIONAL ACTIVITY PARTICIPANTS

Andreev S.E., Voronov M.P.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: mstrk@yandex.ru

This review is devoted to the analysis of synchronous and asynchronous interactions within the educational activities of the university. At present, the electronic information and educational environment has become a necessary condition for the functioning of the university. Due to the fact that the use of synchronous and asynchronous is treated in the new educational standards as a necessary requirement for the electronic information and educational environment of the university that conducts educational activity, the topic of this research is relevant. In this paper, the advantages and disadvantages of using the electronic information and educational environment in educational activities are considered; the basic means of synchronous and asynchronous interactions are given; classification of distance learning support software is presented. The scientific works of such authors as Akhayan, Zaichenko, Ivanchenko, Chasovskikh, Kovalenko, Satunina, Malitikov, Sarayev, Polat, Fedotov, Khusyainov, Khutorskoy, Yurevich, Dias, Kats, Desmarais, Mayer, Nagy, Udaya, William were studied.

Keywords: electronic information and educational environment, synchronous interaction, asynchronous interaction, communication, educational activity

Цифровой век принес в повседневную жизнь большое множество изменений. Человечество, за короткий период времени, окружило себя технологиями, которые еще двадцать-тридцать лет назад считались научной фантастикой. Сейчас же – это реальность, повседневность, которая нас окружает. Гаджеты, смартфоны, ноутбуки, смарт-часы, навигаторы, регистраторы, планшеты, компьютеры, и многие другие технологии в наше время являются вполне обычным атрибутом обычного человека.

Находясь в любой точке цивилизованного мира, у человека есть связь, что позволяет ему быть мобильным и многозадачным. Что, несомненно, открывает перед ним огромное множество возможностей для реализации себя в какой-либо деятельности.

В наше время является обыденностью работа в интернете на дому, фриланс, тестировщик аппаратного или программного обеспечения, партнёрские программы – всё это является возможностью реализовать себя в существующем мире.

Эти процессы не обошли стороной и способы обучения. Так в России появляется концепция e-learning [21-23], которая, развиваясь, с течением времени трансформировалась в «виртуальную образовательную среду» [1,2], а затем в «электронную информационно-образовательную среду» [21, 25, 27].

В данный момент электронная информационно-образовательная среда не только обрела большую популярность, но и стала необходимым условием для полноценного функционирования образовательной организации [26,28,29]. Поскольку задачей любой образовательной среды является обеспечение взаимодействия ее участников, а также в связи с тем, что использование синхронных и асинхронных согласно всех ФГОС ВО [14] является общесистемным требования к электронной информационно-

образовательной среде вуза, тема данного исследования представляется актуальной.

Дополнительными свидетельствами актуальности выбранной темы служат выпускаемые Постановления правительств и прочие нормативно-правовые акты затрагивающие необходимость повышения компьютерной грамотности населения России [10]. Это значит, что существует проблема повышения компьютерной грамотности у соотечественников, и один из способов ее решения – обучение с использованием электронной информационно-образовательной среде, в т.ч. синхронных и асинхронных взаимодействий.

Преимущества и недостатки электронной информационно-образовательной среды

Основные аспекты создания, развития и эксплуатации электронной информационно-образовательной среды рассмотрены в [21–24, 27, 32, 33].

Преимущества электронной информационно-образовательной среды:

Преподаватель доступен практически круглосуточно. Ахаян А.А. [2] в своей работе «Виртуальный педагогический вуз. Теория становления» описывал этот пункт как удобство, ведь у студента есть возможность написать преподавателю в любое удобное время, и в короткий срок получить ответ. Это особенно удобно при смешанной модели обучения, так как не нужно более «ловить» преподавателя в университете или ждать его возле кабинета. Если же необходимо встретиться лично, то о времени встречи можно договориться заранее с помощью электронной почты, специального форума или чата.

Обучение возможно на дистанции, то есть вне зависимости от времени и места. Зайченко Т.П. [5] отмечал, что появляется возможность делать работы на дому или в любой другой комфортной обстановке, что положительно сказывается на результатах. Особенно приятным является тот факт, что все учебные материалы можно найти в два-три клика на сайте университета, или в его специальной базе данных. Это же упоминалось в работе «Достоинства и недостатки дистанционного обучения» [3].

Индивидуальный контроль над обучением. Иванченко Д.А. в публикации «Системный анализ дистанционного обучения»[6] отмечает, что преподавателю проще контролировать процесс обучения, он может видеть ритм обучения своих студентов, конкретное время сдачи работ, их регулярность. Это позволяет выстроить своего рода график обучения для студентов. Так же появляется возможность консультировать каждого студента по отдельности, причем, исключая какое-либо предвзятое отношение. Для студентов же это позволяет более точно контролировать свою успеваемость и вовремя исправлять результаты своих работ.

Контент многократного использования. В одной из своих статей, Зайченко Т.П. «Инвариантная организационно-дидактическая система дистанционного обучения» [4] поднимает тему того, что университету больше не приходится каждый раз писать заново повторяющиеся в нескольких различных дисциплинах темы, у него есть возможность использовать материалы, что были написаны ранее. Это значительно сокращает затраты и время для разработки новых учебных курсов.

Снижение временных и финансовых затрат на обучение. Этот пункт Зайченко Т.П. [5] расписывает и для университета, и для студентов, ведь выгода не односторонняя. Для университета: постепенное снижение временных и финансовых затрат для разработки новых курсов растущее в геометрической прогрессии со временем, о чем говорилось ранее. Для студента: уменьшение временных затрат, затрат на дорогу «до» и «от» университета, уменьшение финансовых затрат на учебные материалы, так как даже если обучение платное, то всё равно все учебные материалы хранятся в доступной онлайн базе данных университета, и входят в стоимость обучения.

Разнообразие и вариативность дидактических подходов. Автор публикации «Задачи анализа, планирования и оптимизации в АСУ ВУЗ» Коваленко В.Е. [7] основывается в тексте на то, что каждый человек – индивидуален, соответственно стоит понимать, что материал, который элементарен для одного студента, может вызывать множество вопросов у другого. Преподаватель имеет возможность учитывать возможности всех его подопечных. Стоит добавить, что при смешанном типе обучения есть возможность предоставить всем максимально комфортные условия для обучения – это может быть курс аудио или видео лекций, различные презентации или просто текстовые материалы. При этом у студентов остается возможность учиться традиционно, так как они уже привыкли.

Гибкость обучения. Студент сам выбирает продолжительность и последовательность материалов для изучения предмета. Тем самым адаптируя учебный курс под свои возможности и потребности, сообщает Сатунина А.Е. в работе под названием «Электронное обучение: плюсы и минусы» [12].

Недостатками электронной информационно-образовательной среды являются:

Невозможность использования старых методов обучения. Согласно с мнением Сатуниной А.Е. [12], большая часть учебных материалов, подходящих для традиционного обучения, не подходят для использования в онлайн или смешанном обучении. Её нужно перерабатывать и подстраивать под ноу-хау.

Потребность живого общения, при удалённом обучении. Так же Сатунина А.Е. [12] считает, что обучаясь только удалённо по средствам информационных технологий, студент не получает возможности нарабатывать и закреплять те необходимые навыки, которые он получал бы на лекциях и семинарах. Это техника личной презентации, «живая» дискуссия, контроль эмоций и многое другое. К этому мнению присоединяется Малитиков Е. М., сообщая о схожих проблемах виртуального образования в работе «Актуальные проблемы развития дистанционного образования в Российской Федерации и странах СНГ» [8].

Необходимость переобучения преподавательского состава. Практически все авторы каких-либо публикаций о виртуальной образовательной среде говорят об этом пункте. Особенно её выделяет Полат Е.С. в публикации «Педагогические технологии дистанционного обучения» [9], ссылаясь на то, что преподавателям при работе с e-learning необходима специальная подготовка, так как им придется встретиться с новыми для них технологиями лицом к лицу, уметь ориентироваться в необходимом программном обеспечении. А далеко не все преподаватели университета в состоянии самостоятельно освоить новые технологии виртуальной образовательной среды. Плюсом к этому, преподавательский состав необходимо как-то мотивировать, ведь большинство людей консервативны, а значит, не хотят что-либо менять в обстановке, к которой они привыкли.

Необходимость оснащения оборудованием университета. Это значительные затраты времени и средств для университета. Нужно подготовить место для серверной, создать новую или взять существующую базу данных. Постоянно обновлять «железо» и программное обеспечение. Данный пункт упоминается в той или иной степени практически в любой работе о виртуальной образовательной среде, например Сараев В. [11] считает, что эти затраты необходимы. Так как каждый ВУЗ должен быть оснащен по последнему слову техники, «идти в ногу со временем».

Проблемы развития навыков работы с новыми технологиями у студентов. Малитиков Е.М. [8] добавляет, что для успешной и эффективной работы в виртуальной образовательной среде студенты тоже должны уметь свободно ориентироваться в используемом программном обеспечении.

Элементы электронной информационно-образовательной среды

Для наглядности, стоит провести аналогию с очным обучением, где система дистанционного обучения – является книжной полкой, а материалы, содержащиеся в её базе данных – книги, что на ней стоят [13].

Виртуальная образовательная среда должна представлять собой целое «здание университета». Она состоит из многих инструментов, предназначенных для какой-либо работы в сети: специальная система тестирования, чаты, форумы, система обмена файлами, виртуальные классные комнаты, туториалы, виртуальные лаборатории, системы электронных ведомостей, блоги и так далее [13,15,38].

Не стоит забывать, что участники процесса обучения, тоже являются элементами системы. Преподаватели в электронной среде становятся тьюторами, студенты – слушателями, а сотрудники деканатов – организаторами.

Виды взаимодействий в рамках электронной информационно-образовательной среды

Все взаимодействия между участниками образовательной деятельности (преподаватели, студенты, работники деканата) в рамках электронной информационно-образовательной среды подразделяются на два основных вида:

Синхронные взаимодействия между участниками образовательной деятельности [16–18].

Асинхронные взаимодействия между участниками образовательной деятельности [16–18].

Существуют и другие виды деления взаимодействий в виртуальной образовательной среде, но они скорее являются исключениями, ведь чаще всего используется именно это подразделение.

Синхронные взаимодействия между участниками образовательной деятельности.

Синхронные взаимодействия между участниками учебной деятельности, далее синхронные коммуникации – чаще всего это средства общения между студентом и преподавателем в режиме реального времени [19].

В настоящее время подобная практика в университетах Российской Федерации является редкостью, из-за ряда причин [19, 20]:

1. Отсутствие хорошего интернет соединения.

2. Отсутствия хорошего мобильного интернет-покрытия у сотовых операторов.

3. Необходимость высоких технических характеристик вычислительной техники в пользовании университета.

4. Необходимость высоких технических характеристик вычислительной техники в пользовании студента.

5. Общее свободное время у преподавателя и его подопечных (студентов).

Синхронные коммуникации чаще используются для решения конкретных задач или частного общения между преподавателем и студентом [20,30,36].

Основными видами синхронных коммуникаций, распространённых в Российской Федерации являются:

1. Чат [6, 33, 34]. Средство коммуникации, путем обмена сообщениями между преподавателем и студентом (группой студентов) по компьютерной сети в режиме реального времени.

2. Аудиоконференция [6, 33, 34]. Средство коммуникации, путем соединения голосовой связью между преподавателем и студентом (группой студентов) по компьютерной сети в режиме реального времени.

3. Видео конференция [6, 33,3 4]. Средство коммуникации, обеспечивающее одновременно двухстороннюю передачу, обработку и представление видео картинки в реальном времени, а так же голосовой связи между преподавателем и студентом (группой студентов) по компьютерной сети в режиме реального времени.

4. Виртуальная доска [6, 33, 34]. Виртуальная имитация классной доски, для передачи информации в реальном времени.

5. Виртуальный класс [6, 33, 34]. Виртуальная имитация общения при аудиторной встрече при обучении. Является комплексом программного обеспечения реализующего сразу множество элементов синхронного общения. Является наиболее приближенным видом синхронного виртуального общения к реальному (лицом к лицу), с помощью нескольких основных функций [6, 33, 34]:

- Виртуальная доска.
- Общий аудио и видео чат.
- Функция поднятой руки.
- Индивидуальный обмен информацией между преподавателем и студентами.
- Показ каких-либо ученых материалов, например презентаций. Может включать в себя многие другие функции, необходимые для некоторых узких групп пользователей.

Хотя синхронные коммуникации являются очень редким видом взаимодействий в виртуальной образовательной среде, существует очень множество разнообразного программного обеспечения как профессионального, так и пользовательского, позволяющего использовать данный вид взаимодействия в образовательной деятельности [37, 39].

Асинхронные взаимодействия между участниками учебной деятельности

Асинхронные взаимодействия между участниками учебной деятельности, далее асинхронные коммуникации – чаще всего это средства общения между студентом и преподавателем с задержкой во времени [6, 13].

Уже сейчас данный тип коммуникации, является частой практикой в университетах Российской Федерации, даже если в тех не подразумевается дистанционное обучение, чаще всего сами преподаватели используют сей тип коммуникаций со студентами для удобства проверки их учебной деятельности.

Асинхронные коммуникации негласно признаны более удобным методом взаимодействий в виртуальной образовательной среде, нежели синхронные по ряду причин:

Независимость от времени коммуникации [13, 29]. Студент может отправить задание в любое удобное для него время суток. Преподаватель может проверить задание в любое удобное для него рабочее время.

Простота использования [13]. Практически каждый интернет-пользователь имеет свой e-mail (почтовый ящик), и умеет пользоваться услугами электронной почты.

Долгосрочное хранение информации [13]. Базы данных электронной почты обеспечивают достаточно долгосрочное хранение информации, это больше чем необходимо для комфортного обмена учебными ресурсами между преподавателями и студентами.

Точная информация о времени отправления сообщений [13].

Базы данных электронной почты хранят точное время отправки и получения сообщений, что может исключить некоторые конфликтные ситуации между преподавателем и студентом.

Это действительно удобно. Большинство преподавателей предпочитают получать работы студентов по средствам электронной почты.

Основными видами асинхронных коммуникаций, распространённых в Российской Федерации являются:

1. Электронная почта [6, 33, 34]. Технология и служба по пересылке и получению электронных сообщений, самый распро-

странённый метод. Так как практически у каждого интернет-пользователя есть свой аккаунт (свой почтовый ящик). Все участники учебного процесса (преподаватели, студенты, сотрудники деканатов) заранее знакомы с этим типом асинхронной коммуникации, поэтому он общепринято является самым простым и при этом удобным видом асинхронного взаимодействия между ними.

2. Различные системы обменов файлами [6, 33, 34]. Специальные сайты и ресурсы университета, куда сохраняются файлы учебной деятельности всех участников учебного процесса, для передачи информации между преподавателями и студентами.

3. Веб-форумы [6, 33, 34]. Специальные разделы на сайтах (базах данных) университетов или же отдельные сайты, предназначенные для проведения онлайн-дискуссий, где любой участник учебного процесса может оставлять сообщения на какую-либо тему соответствующую специальному разделу.

Виды асинхронного взаимодействия между участниками образовательной деятельности гораздо более распространенны в Российской Федерации, нежели методы синхронной коммуникации.

На данный момент существует огромное число приложений для поддержки дистанционного обучения [30, 31, 35]:

1. Система управления обучением (LMS):
   1.1. Российские LMS:
      1.1.1. Competentum.
      1.1.2. WebTutor.
      1.1.3. RedClass.
      1.1.4. eLearningServer.
      1.1.5. Naumen.
      1.2. Западные LMS:
      1.2.1. IBM Lotus Workplace Collaborative Learning.
      1.2.2. learneXact.
      1.2.3. Elearning Now.
      1.2.4. Sitos, компания Bitmedia.
2. Учебный контент:
   2.1. SkillSoft.
   2.2. NETg.
   2.3. Новый диск.
   2.4. Центр e-Learning.
   2.5. Тренинг Медиа.
   2.6. OKS.
   2.7. CSSeTrain.
   2.8. Тренинг Софт.

Выводы

Электронная информационно-образовательная среда имеет действительно большой потенциал. Она позволяет максимально комфортно учиться или переобучаться:

1. Для коммерческих организаций она дает возможность не отправлять человека в учебную командировку на переобучение или обучение чему-либо, а позволяет получить необходимые знания на предприятии, дистанционно.

2. Совершеннолетним юношам, теоретически, дистанционное обучение позволяет получать необходимое им образования, находясь на военной службе.

3. Виртуальная образовательная среда позволяет получать несколько образований одновременно. Если у студента на очной форме обучения нет возможности посещать занятия в двух вузах по причине одновременно проходящем учебном процессе, то работать в двух направлениях в «домашних» условиях не составляет труда.

Однако мы считаем, что понадобиться еще около десятка лет, чтобы получение высшего образования через виртуальную образовательную среду стало такой же обыденностью в нашей стране, как например получение высшего образования заочно.

Список литературы

1. Андреев А.А. Введение в дистанционное обучение: учебно-методическое пособие. – М.: ВУ, 1997.

2. Ахаян А.А. Виртуальный педагогический вуз. Теория становления. – СПб.: Корифей, 2001. – 170 с.

3. Достоинства и недостатки дистанционного обучения // Образование: путь к успеху. – Уфа, 2010.

4. Зайченко Т.П. Инвариантная организационно-дидактическая система дистанционного обучения : монография. – СПб.: Астерион, 2004. – 188 с.

5. Зайченко Т. П. Основы дистанционного обучения: теоретико-практический базис : учебное пособие. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2004. – 167 с.

6. Иванченко Д.А. Системный анализ дистанционного обучения : монография. — М.: Союз, 2005. — 192 с.

7. Коваленко В.Е. Задачи анализа, планирования и оптимизации в АСУ ВУЗ. – М.: НИИВШ, 1980. – 40 с.

8. Малитиков Е.М. Актуальные проблемы развития дистанционного образования в Российской Федерации и странах СНГ / Е.М. Малитиков, М.П. Карпенко, В.П. Колмогоров // Право и образование. – 2000. – № 1(2). – С. 42–54.

9. Полат Е.С. Педагогические технологии дистанционного обучения / Е.С. Полат, М.В. Моисеева, А.Е. Петров; под ред. Е.С. Полат. – М.: Академия, 2006.

10. Постановление правительства Москвы от 17 сентября 2014 года №547–ПП.

11. Сараев В. Неленинский университет миллионов // Эксперт: журнал. – М., 2014. – № 28 (907). – ISSN 1812–1896.

12. Сатунина А.Е. Электронное обучение: плюсы и минусы // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 1. – С. 89–90.

13. Теория и практика дистанционного обучения / под ред. Е.С. Полат. – М.: Академия, 2004.

14. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. Уровень высшего образования магистратура. Направление подготовки менеджмент. Утвержден приказом Министерства образования и науки РФ от 30 марта 2015 г. № 322.

15. Федотов А.В. Моделирование в управлении вузом. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. – 115 с.

16. Хусяинов Т.М. История развития и распространения дистанционного образования // Педагогика и про-

свещение. – 2014. – № 4. – С.30–41. DOI: 10.7256/2306–434X.2014.4.14288

17. Хусяинов Т.М. Основные характеристики массовых открытых онлайн-курсов (МООС) как образовательной технологии // Наука. Мысль. – 2015. – № 2. – С. 21–29.

18. Хуторской А.В. Дистанционное обучение и его технологии // Компьютерра. – 2002. – № 36. – С. 26–30.

19. Хуторской А.В. Научно-практические предпосылки дистанционной педагогики // Открытое образование. – 2001. – № 2. – С. 30–35.

20. Хуторской А. В. Пути развития дистанционного образования в школах России // Всероссийская научная конференция Relarn. Тезисы докладов. – М., 2000.

21. Часовских В.П. Сайт преподавателя вуза – реальное приложение // Эко-Потенциал. – 2015. – № 1 (9). – С. 61–78.

22. Часовских В.П., Стаин Д.А. Исследование системных связей и закономерностей формирования и управления образовательным процессом на основе современных web-технологий в контенте сайта вуза // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7–1. С. 128–132.

23. Часовских В.П., Стаин Д.А. Исходные данные модели образовательного процесса вуза в среде современных web-технологий // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1.

24. Часовских В.П., Стаин Д.А. Методы оптимизации и повышения эффективности доступа к данным в информационных системах управления организацией // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (ч.10). – С. 2114–2119.

25. Часовских В.П., Стаин Д.А. Модель образовательного процесса и сайт вуза 2.0 // Эко-Потенциал. – 2014. – № 2(6). – С. 113–119.

26. Часовских В.П., Стаин Д.А. Новая роль образовательного процесса университета в среде технологии Интернет // Эко-потенциал. – 2015. – №4(12). – С. 45–49.

27. Часовских В.П., Стаин Д.А. Структура, содержание и среда разработки веб-сайта вуза // Эко-потенциал. – 2013. – № 3–4. – С. 160–173.

28. Часовских В.П., Усольцев В.А. Интернет и социальные медиа сегодня // Эко-Потенциал. – 2014. – № 3(7). – С. 106–118.

29. Часовских В.П., Усольцев В.А. Информация – гармония и хаос // Эко-Потенциал. – 2014. – № 3(7). – С. 97–105.

30. Юревич А.В. Информационно-коммуникационная система образования, 2011.

31. Changing Course: Ten Years of Tracking Online Education in the United States / Babson Survey Research Group. – 2013. – P. 4. – ISBN 978–0–9840288–3–2.

32. Dias S.B., Diniz J.A., Hadjileontiadis, L.J. Towards an Intelligent Learning Management System Under Blended Learning: Trends, Profiles and Modeling Perspectives. – Springer International Publishing, 2013. – 235 p. – ISBN 9783319020785.

33. Kats, Y. Learning Management System Technologies and Software Solutions for Online Teaching: Tools and Applications: Tools and Applications. – Information Science Reference, 2010. – 486 p. – ISBN 9781615208548.

34. Kats, Y. Learning Management Systems and Instructional Design: Best Practices in Online Education. – IGI Global, 2013. – ISBN 9781466639317.

35. Martin Desmarais. India company chases U.S. online tutoring market. INDIA New England (3 january 2011).

36. Mayer, R. E. (2001). Multimedia learning. New York: Cambridge University Press. ISBN 0–521–78749–1.

37. Nagy, A. The Impact of E-Learning // E-Content: Technologies and Perspectives for the European Market / Bruck, P.A.; Buchholz, A.; Karssen, Z.; Zerfass, A. (Eds). – Berlin: Springer-Verlag, 2005. – P. 79–96.

38. Udaya SriK., Vamsi Krishna T.V. E-Learning: Technological Development in Teaching for school kids // International Journal of Computer Science and Information Technologies. – 2014. – P. 6124—6126.

39. William S. Davis, David C. Yen. The Information System Consultant's Handbook. Systems Analysis and Design. – CRC Press, 1998. – 800 c. – ISBN 0849370019.

УДК 004.93

ПАССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА

Бацева Д.А., Белов Ю.С.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: wwdusya@gmail.com

В стремлении к увеличению надежности и скоростей распознавания лиц создавались системы, которые использовали распознавание на основе 3D. Благодаря этому появился новый параметр – информация о глубине, с помощью которого возможно минимизировать влияние изменений позы и освещенности для достижения большей точности распознавания. В статье рассматриваются основные пассивные методы моделирования 3D-головы человека, которые используются на первом этапе в любой системе распознавания лиц с поддержкой 3D. Методы пассивного моделирования используют несколько изображений, которые были захвачены без датчиков. Существует два хорошо известных метода пассивной реконструкции – стереозрение, морфинг, определение формы по перемещению. Описываются сами алгоритмы, точность, преимущества и недостатки этих методов, а также их эффективность для распознавания трехмерного лица.

Ключевые слова: распознавание лиц, 3D-модель, 3D-реконструкция лица, стереозрение, морфинг, реконструкция по видео, shape-from-motion

PASSIVE TECHNOLOGIES OF HUMAN HEAD MODELING

Batseva D.A., Belov Y.S.

Branch of Moscow state technical University n.a. Bauman (national research University), Kaluga, e-mail: wwdusya@gmail.com

In its quest for more reliability and higher recognition rates the face recognition community has been focusing more and more on 3D based recognition. Depth information adds another dimension to facial features and provides ways to minimize the effects of pose and illumination variations for achieving greater recognition accuracy. This chapter reviews, therefore, the major techniques for 3D face modeling, the first step in any 3D assisted face recognition system. Passive modeling techniques use several images that were captured without sensors. The reviewed techniques are stereo vision, morphing, shape from motion. Concepts, accuracy, feasibility, and limitations of these techniques and their effectiveness for 3D face recognition are discussed.

Keywords: 3D face reconstruction, face recognition, stereo vision, morphing, shape from motion

Распознавание лица на неподвижном изображении – важная задача и часто она является первым шагом в алгоритмах приложений для реализации взаимодействия человек–компьютер. Целью таких алгоритмов является определение отсутствия или присутствия лица на произвольном изображении и, если оно есть, то необходимо выявить его положение и размер [3].

Технологии 3D-моделирования лица можно разделить на два класса – активные и пассивные – в зависимости от методов обработки изображений и методов дальнейшей реконструкции 3D-модели.

Существующие на данный момент активные системы 3D-распознавания лиц используют специальное оборудование для реконструкции трехмерной модели лица (сенсорные системы) [1]. Существует зависимость между ценой и точностью системы.

Большинство высокоточных систем стоят десятки тысяч долларов и требуют высокой квалификации персонала, как для настройки, так и для использования. Но высокие темпы развития компьютерных технологий и технологий обработки видео привели к созданию относительно недорогих систем, которые можно применять в большинстве областей [2].

Методы пассивного моделирования используют несколько изображений, которые были захвачены без датчиков. Для пассивной реконструкции необходимо одно изображение, либо совокупность нескольких изображений, захваченных одновременно, а также может использоваться последовательность изображений, то есть видео. Одни из самых распространенных методов пассивного моделирования включают в себя стереозрение, морфинг и определение формы по перемещению.

Стереозрение. Для метода стереозрения характерны две камеры, которые работают синхронно. С их помощью можно восстановить изгиб и местоположение наблюдаемого объекта в системе координат сцены. Главная задача данной технологии – получить две необходимые карты. Одна из них называется карта глубины – это такое изображение, где для каждого пиксела хранится не только информация о цвете, но и также содержится информация о том, как далеко объект расположен от камеры. Другая карта называется карта глубины, она создает-

ся с помощью стереопары изображений. Принцип ее создания прост: для всех точек на одной фотографии находятся парные им точки на другой фотографии. Точно также для всех пикселей первого изображения находятся парные пиксели на втором изображении. Предположим, что координаты пикселя на первом изображении равны ($x_0 - d$, y_0), где d – параметр, который называется несоответствием или смещением. Чем больше несоответствие, тем меньше глубина. Если соответствие между точками сцены стереоизображений установлено максимально правильно, то стереосистемы смогут восстановить высокоточную глубину. Рис. 1(a) иллюстрирует бинокулярную стереоустановку с двумя идентичными камерами, сфокусированными на одной и той же сцене.

Точка P_1 (X, Y, Z) находится на расстояниях x_l и x_r от точки фокусировки соответственно левого и правого изображений. Несоответствие $|x_l - x_r|$ для P_1 меньше, чем для точки P_2, расположенной относительно ближе к камерам. Для установки связи между 2D-координатами точек изображения (x, y) и 3D-координатами (X, Y, Z) сцены требуется ряд параметров. В процессе калибровки оцениваются два типа параметров: (1) внешние, связанные с относительным положением камер и (2) внутренние, связанные с самой камерой. Внутренними параметрами являются характеристики камеры, такие как фокусное расстояние f, длина пикселя s_x, ширина s_y и координаты главной точки (Ox, Oy). Внешними параметрами являются три поворота и три перевода камеры относительно мировой системы координат.

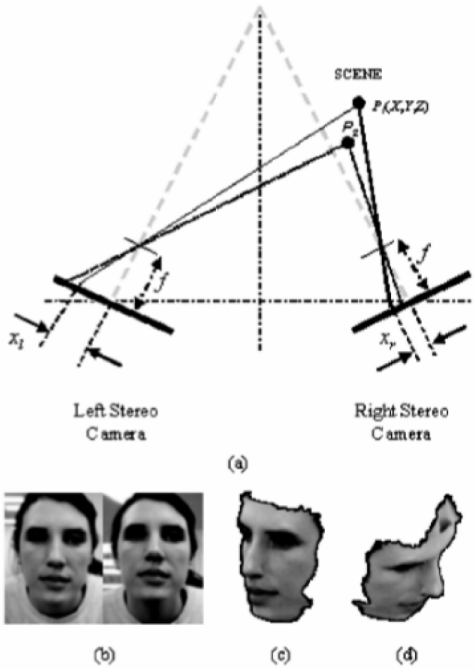


Рис. 1. 3D-реконструкция головы человека методом стереозрения: a – бинокулярная система стереозрения, b – стереопара, c-d – реконструированная часть трехмерной модели

Пренебрегая радиальным искажением объектива, внешние и внутренние параметры могут быть представлены двумя матрицами преобразования M_{ext} и M_{int}. Предполагая, что $Ox = Oy = 0$ и $sx = sy = 1$, единственная матрица преобразования M может быть записана как [8]

$$M = M_{int} M_{ext} = \begin{bmatrix} -f/s_x & 0 & O_x \\ 0 & -f/s_y & O_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & -R_1^T T \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & -R_2^T T \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & -R_3^T T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_a & m_b & m_c & m_d \\ m_e & m_f & m_g & m_h \\ m_i & m_j & m_k & m_l \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Здесь r_{ij} – элементы R – вращение мировых координат относительно координат камеры, Ri – i-й вектор столбца R; T – вектор сдвига из начала мировой системы координат.

В гомогенной системе координат получаем линейное матричное уравнение, описывающее перспективную проекцию как:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Координаты изображения определяются как $x = u / w$ и $y = v / w$. Мы можем разделить обе части (2) на m_1 и уменьшить число параметров до 11. Если (x_1, y_1) – точка на изображении, снятом левой камерой, можно записать

$$x_l = \frac{u}{v} = \frac{m_1 X + m_2 Y + m_3 Z + m_4}{m_9 X + m_{10} Y + m_{11} Z + 1}; \quad (3)$$

$$y_l = \frac{v}{w} = \frac{m_5 X + m_6 Y + m_7 Z + m_8}{m_9 X + m_{10} Y + m_{11} Z + 1}; \quad (4)$$

В наши дни мощности процессоров и видеокарт постоянно увеличиваются, однако существующие алгоритмы стереозрения значительно медлительны.

Морфинг с использованием обобщенной модели. Морфинг требует, чтобы обобщенная форма объекта была априори известна. Общая форма лица человека может быть получена с помощью лазерных сканеров или структурированных световых систем путем захвата нескольких моделей, а затем их усреднения. Общая модель 3D-головы может быть изменена (т.е. деформирована) для того, чтобы получить конкретную трехмерную модель определенного человека.

Процесс морфинга (т.е. деформации общей 3D-модели) состоит в том, что 2D-проекции 3D-модели должны максимально приближаться к одному или нескольким оригинальным изображениям лица (рис. 2) [7].

Алгоритм морфинга не вызывает сложностей. Если нам известна величина смещений и весовых коэффициентов базовых точек, необходимо изменить значения местоположений в пространстве этих точек. Каждое значение точек необходимо увеличить на число, которое вычисляется, как произведение ее смещения и веса. Алгоритм можно объяснить следующим уравнением:

$$T(i) = T(i) + L(j) * W(L(j)), \quad (5)$$

здесь в T хранится информация о местоположении точек в пространстве, i = 0, 1315; j = 0; $L(j)$ – смещение для j-й базовой точки, а $W(L(j))$ –значение веса i-й точки, связанной с j-й базовой точкой.Уравнение для алгоритма морфинга, записанное для всех точек изображения в анфас:

$$T(i).x = T(i).x + L(j).x * W(Lf(j)), \quad (6)$$

$$T(i).y = T(i).y + (L(j).y / 2) * W(Lf(j)), \quad (7)$$

Уравнение для алгоритма морфинга, записанное для всех точек изображения в профиль:

$$T(i).z = T(i).z + Ls(j).x * W(Ls(j)), \quad (8)$$

$$T(i).y = T(i).y + (Ls(j).y / 2) * W(Ls(j)), \quad (9)$$

Морфинг является довольно дорогостоящим из-за его итеративного характера. В некоторых случаях требуется ручная подгонка при выравнивании общей 3D-модели. Эти ограничения делают невозможным использование морфинга в приложениях, работающих в режиме реального времени. Тем не менее, морфинг способен восстанавливать трехмерную часть головы человека, используя всего одно 2D-изображение [5].

Определение формы по перемещению. Shape-from-motion, или 3D-реконструкция по видео, создает 3D-модель объекта из видеопоследовательности. Видео должно иметь по крайней мере два кадра и небольшие различия между точками в последовательных кадрах. В видеороликах с большими различиями между кадрами объект может быть восстановлен с использованием стереозрения, когда известны внутренние параметры камеры [8].

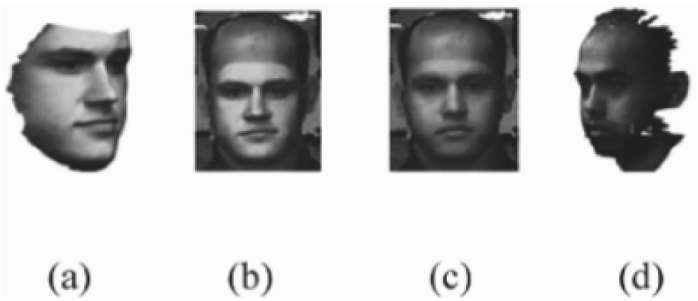


Рис. 2. Иллюстрация лицевой реконструкции методом морфинга:
a – лицевая часть 3D-шаблона; b – трехмерный шаблон, наложенный на двумерное изображение лица; c – промежуточная стадия морфинга 3D-шаблона; d – реконструированная трехмерная модель лица

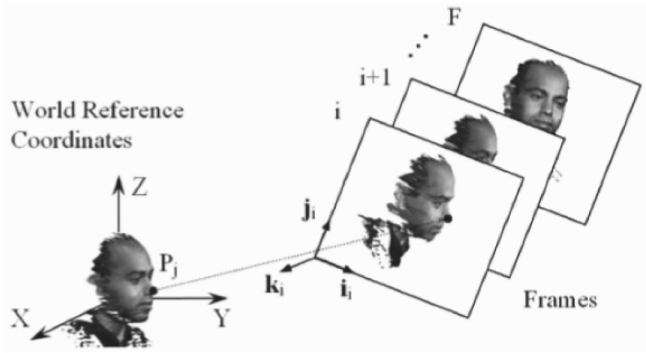


Рис. 3. Иллюстрация трехмерной реконструкции лица из видео. N – число характерных точек, которые отслеживается по F числу кадров, где Pj (j = 1, ..., N)

Глубина по видео может быть восстановлена с использованием одного из двух основных подходов – либо путем отслеживания характерных особенностей, либо вычисления оптического потока. Подход по отслеживанию характеристик требует одновременного согласования токенов в нескольких выбранных точках. Оптический поток наоборот может быть рассчитан либо абсолютно точно в каждой точке, либо ограниченно в нескольких точках объекта из пространственных и временных производных яркости изображения.

3D-реконструкция по видео широко используется в ряде приложений, таких как surveillance [3]. Тем не менее, данный метод имеет свой недостаток – такое моделирование довольно сильно зависит от наличия шумов на видео, и это может привести к дальнейшей некачественной реконструкции [4, 6].

В настоящее время активные методы более распространены, чем пассивные, однако они имеют существенный недостаток – с помощью активных методов невозможно восстановить трехмерную структуру из 2D-изображений головы человека. Поэтому, в случае, когда 2D-изображения являются единственными доступными данными, пассивные методы реконструкции 3D-модели могут сыграть ключевую роль.

Список литературы

1. Кузнецов Г.С., Белов Ю.С. Обзор метода 3D распознавания лиц без преобразования лицевой поверхности // Наука, техника и образование. [Электронный ресурс]. – URL: http://nto-journal.ru/catalog/informacionnye-texnologii/160/ (дата обращения: 7.06.2017).

2. Тихонова Т.С., Белов Ю.С. Введение в системы отслеживания взгляда // Наука, техника и образование. [Электронный ресурс]. – URL: http://nto- journal.ru/catalog/informacionnye-texnologii/108/ (дата обращения: 6.06.2017).

3. Тихонова Т.С., Белов Ю.С. Основные подходы к отслеживанию и распознаванию лица // Наука, техника и образование [Электронный ресурс]. – URL: http://nto-journal.ru/catalog/informacionnye-texnologii/178/(дата обращения: 6.06.2017).

4. Abidi B., Abidi M. Face Biometrics for Personal Identification: Multi-Sensory Multi-Modal Systems. Springer Science & Business Media: 228, 2011.

5. Bebis G., Boyle R., Parvin B.. Advances in Visual Computing. Springer Science & Business Media, 269, 2010.

6. Blanz V., Grother P., Phillips J., and Vetter T. Face recognition based on frontal views generated from non–frontal images. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 446–453, 2005.

7. Chellappa R., Sankaranarayanan A., Veeraraghavan A. Statistical Methods and Models for Video-based Tracking, Modeling, and Recognition. Now Publishers Inc: 89, 2010.

8. Koschan A., Pollefeys M., Abidi M.. 3D Imaging for Safety and Security. Springer Science & Business Media: 4–5, 2007.

9. Medioni G. and Pesenti B. Generation of a 3–D face model from one camera. Proc. of the 16th Int'l Conf. on Pattern Recognition (ICPR), 3: 667–671, 2002.

УДК 678.632

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ И КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

В данной работе приведена общая характеристика фенолформальдегидных смол, отдельно рассмотрены новолачные и резольные смолы. Представлены реакции и рассмотрены механизмы образования и отверждения новолачных и резольных смол, а также их основные свойства. Рассмотрены технологии получения новолачных смол и лаков, резольных смол и лаков, эмульсионных резольных смол, фенолоспиртов и фенолформальдегидных концентратов. Приведены рецептуры и технологические параметры получения рассматриваемых смол по периодическому и непрерывному способам. На основании данной информации проведена сравнительная оценка новолачных и резольных фенолформальдегидных смол, а также композиций на их основе, позволяющая оценить преимущества и недостатки их применения в различных областях, в том числе при производстве фенопластов и изделий из них.

Ключевые слова: фенолформальдегидные смолы, новолачные смолы, резольные смолы, отверждение, уротропин

TECHNOLOGY OF PREPARATION AND PROPERTIES OF PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS AND COMPOSITIONS BASED ON THEM

Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S.

Vladimir state university named of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletov, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

In this article presented general characteristics of phenol-formaldehyde resins, are considered separately novolac and resol resin. Represented reactions and the mechanisms of formation and curing of the novolak and resol resins and their basic properties. Examines the technology of novolac resins and varnishes, resol resins and varnishes, emulsion resol resins, phenol-alcohols and phenol-formaldehyde concentrates. Presented the formulation and technological parameters of obtaining the considered resins by batch and continuous methods. On the basis of this information a comparative assessment novolac and resol phenol-formaldehyde resins, and compositions on their basis, which allows to evaluate the advantages and disadvantages of their application in various fields, including in the production of phenolic plastics and products from them.

Keywords: phenol-formaldehyde resin, novolac resin, resol resin, curing, hexamethylenetetramine

В настоящее время в строительстве и различных отраслях промышленности широко применяются синтетические смолы, получаемые в результате реакций поликонденсации или полимеризации. Наиболее широко они используются в качестве связующих для получения композиционных материалов, клеев и в лакокрасочной промышленности. Основными преимуществами применения синтетических смол являются их высокая адгезия к большинству материалов и водостойкость, а также механическая прочность, химическая и термическая устойчивости [2, 4, 8].

При этом в чистом виде синтетические смолы практически не используются, а применяются в качестве основы композиций, в состав которых входят различные добавки такие как наполнители, разбавители, загустители, отвердители и др.

Введение добавок позволяет в широких пределах регулировать технологические свойства композиций и эксплуатационные свойства получаемых из них изделий. Однако во многом свойства композиции определяются свойствами синтетической смолы. От выбора смолы также зависит выбор технологии и параметров формования изделий из композиции.

К наиболее широко применяемым в настоящее время синтетическим смолам относятся карбомидные, алкидные, эпоксидные, полиамидные и фенолоальдегидные (преимущественно фенолоформальдегидные) [2, 4].

Общая характеристика фенолоформальдегидных смол

ФФС $[–C_6H_3(OH) –CH_2–]_n$ являются жидкими или твердыми олигомерными продуктами реакции поликонденсации фенола C_6H_5OH или его гомологов (крезолов $CH_3–C_6H_5–OH$ и ксиленолов $(CH_3)_2–C_6H_5–OH$) с формальдегидом (метаналем $H_2–C=O$) в присутствии катализаторов кислотного (соляная HCl, серная H_2SO_4, щавелевая $H_2C_2O_4$ и другие кислоты) и щелочного (аммиак NH_3, гидрат аммиака NH_4OH гидроксид натрия NaOH, гидроксид бария $Ba(OH)_2$) типа.

Формальдегид обычно применяют в виде водного раствора, стабилизированного метанолом, который называется формалином $CH_2O \cdot H_2O \cdot CH_3OH$. В ряде случаев фенол заменяют на замещенные фенолы или резорцин ($C_6H_4(OH)_2$), а формальдегид частично или полностью замещают на фурфурол $C_5H_4O_2$ или на продукт полимеризации формальдегида – параформ $OH(CH_2O)_nH$, где n = 8 – 100 [12].

Роль реакционноспособных функциональных групп в этих соединениях играют:

В феноле – три С-Н-связи в двух орто- и пара-положениях (легче идет замещение в двух орто-положениях);

В формальдегиде – двойная связь С=О, способная к присоединению по атомам С и О.

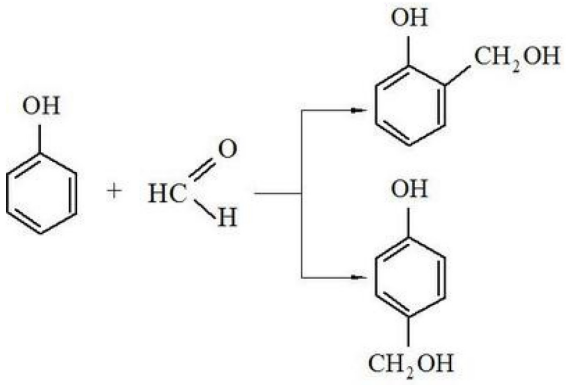
В зависимости от природы в соотношения компонентов, а также от применяемого катализатора фенолоформальдегидные смолы делят на два вида: термопластичные или новолачные смолы и термореактивные или резольные.

Процесс образования фенолоальдегидных смол весьма сложен. Ниже приведены реакции образования фенолоформальдегидных смол, установленные на основании работ Кебнера и Ваншейдта и являющиеся в настоящее время общепризнанными [2].

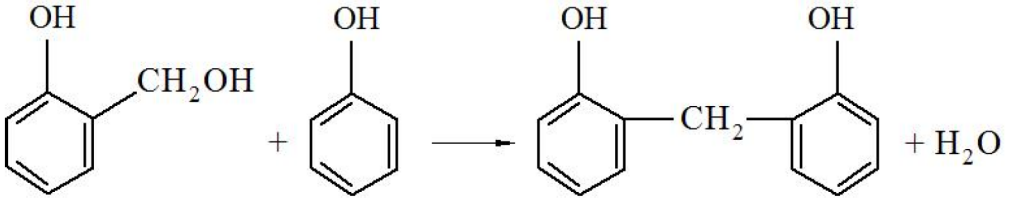
Характеристика новолачных смол

Новолачные смолы (НС) – преимущественно линейные олигомеры, в молекулах которых фенольные ядра соединены метиленовыми мостиками $–CH_2–$. Для получения новолачных смол необходимо проводить реакцию поликонденсации фенола и формальдегида при избытке фенола (отношение фенола к альдегиду в молях 6 : 5 или 7 : 6) и в присутствии кислых катализаторов.

При этом на первой стадии реакции будут образовываться п- и о-монооксибензиловые спирты [2]:

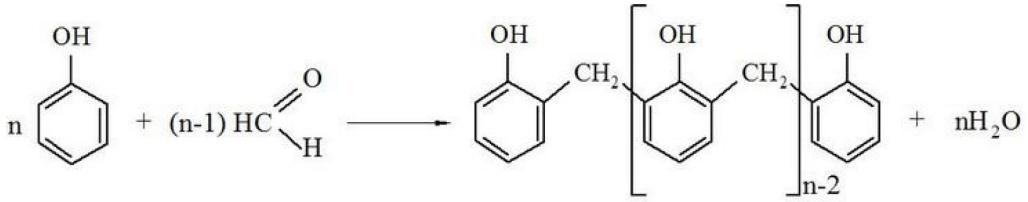


В кислой среде фенолоспирты быстро реагируют (конденсируются) с фенолом и образуют дигидроксидифенилметаны, например [2]:



Образовавшиеся дигидроксидифенилметаны взаимодействуют с формальдегидом или фенолоспиртами. Дальнейший рост цепи происходит за счет последовательного присоединения формальдегида и конденсации.

Общее уравнение поликонденсации в кислой среде, приводящее к образованию НС, имеет вид [2]:



где n ≈ 10.

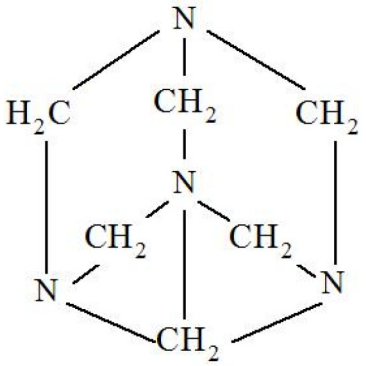
При обычных условиях новолачной конденсации присоединение формальдегида к фенольному ядру происходит в основном в пара-положение, и приведенная выше формула не отражает истинного строения смолы. Ортоноволаки, т. е. фенолоформальдегидные олигомеры с присоединением только в орто-положение, получаются лишь при специальных методах поликонденсации. Они представляют значительный интерес благодаря регулярному строению и возможности получения сравнительно высокомолекулярных соединений.

Молекулы новолачной смолы не способны вступать в реакцию поликонденсации между собой и не образуют пространственных структур.

Отверждение новолачных смол

Новолачные смолы представляют собой термопластичные полимеры, которые при нагревании размягчаются и даже плавятся, а при охлаждении затвердевают. Причём этот процесс можно проводить множество раз.

Новолачные смолы могут быть переведены в неплавкое и нерастворимое состояние путем обработки их различными отвердителями: формальдегидом, параформом или чаще всего гексаметилентетрамином (уротропин) $C_6H_{12}N_4$ [2]:



Уротропин добавляют в количестве 6 – 14 % и нагревают смесь при температуре 150 – 200°С. Измельченная смесь новолачной смолы с гексаметилентетрамином (уротропином) называется пульвербакелит [9].

При нагревании происходит разложение уротропина с образованием диметилениминовых (I) и триметиленаминовых (II) мостиков между молекулами смолы [2]:

I II

Эти мостики затем распадаются с выделением аммиака и других азотсодержащих соединений, а между молекулами смолы образуются метиленовые мостики —CH_2— и термостабильные связи —CH=N—CH_2—.

Новолачные смолы при нагревании с уротропином проходят те же три стадии отверждения, что и резольные.

Свойства новолачных смол

В зависимости от технологии получения новолачные смолы представляют собой твердые хрупкие стеклообразные вещества в виде кусков, чешуек или гранул цветом от светло-жёлтого до тёмно-красного (рис. 1).

Новолачные смолы хорошо растворимы в спиртах, кетонах, сложных эфирах, фенолах и водных растворах щелочей. В воде новолачные смолы набухают и размягчаются, а в отсутствии влаги стабильны при хранении.

Основные свойства новолачных смол, выпускаемых промышленностью (марок СФ) представлены в табл. 1 [7].

Характеристика резольных смол

Резольные смолы (РС), называемые также бакелитами – смесь линейных и разветвлённых олигомеров, содержащих большое число метилольных групп –CH_2OH, способных к дальнейшим превращениям. Для получения резольных смол необходимо проводить реак-

Рис. 1. Внешний вид новолачных смол

Таблица 1

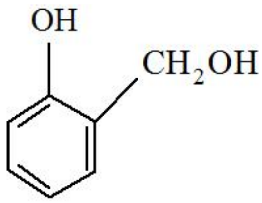
Свойства новолачных смол в присутствии 10% гексаметилентетрамина (уротропина)

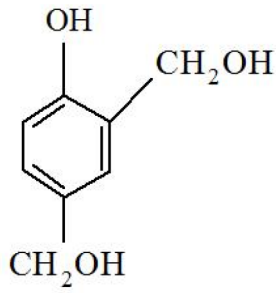
Молекулярная масса, г/моль	Плотность, кг/м^3	Содержание свободного фенола, %	Температура каплепадения*, °C	Время желатинизации** при 150°C, с
450 – 800	1200 – 1220	1 – 7	90 – 130	40

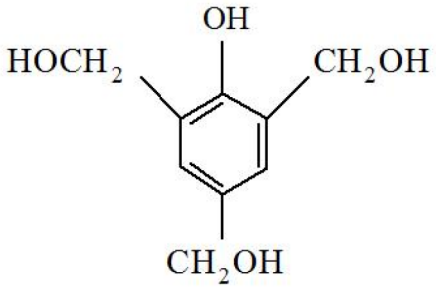
Примечания: *Температура каплепадения – температура, при которой смола начинает принимать жидкую форму и спадает в форме капель или выплывает из измерительного сосуда под действием силы тяжести. **Время желатинизации – время, в течении которого смола полимеризуется и переходит в твердое, неплавкое и нерастворимое состояние. В течении этого времени смола остаётся жидкой, пригодной для обработки и применения.

цию поликонденсации фенола и формальдегида при избытке формальдегида (отношение альдегида к фенолу в молях 6 : 5 или 7 : 6) и в присутствии основных катализаторов.

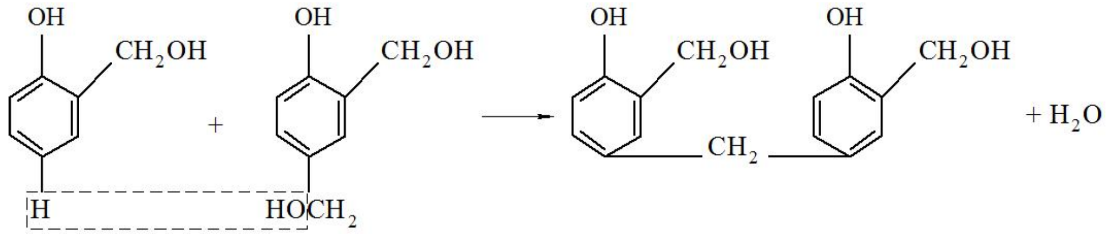
При этом на первой стадии реакции поликонденсации будут получаться моно-, ди- и триметилольные производные фенола (фенолоспирты) [2]:

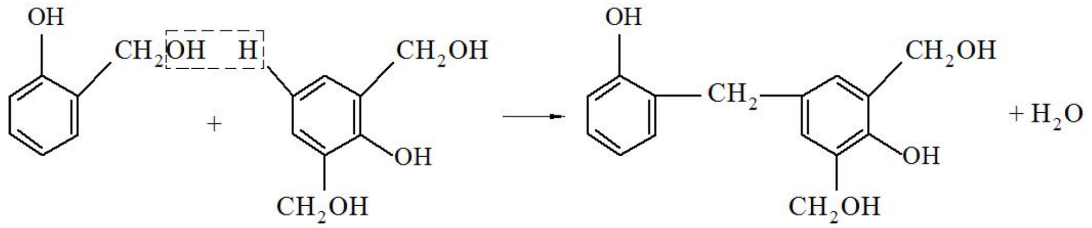




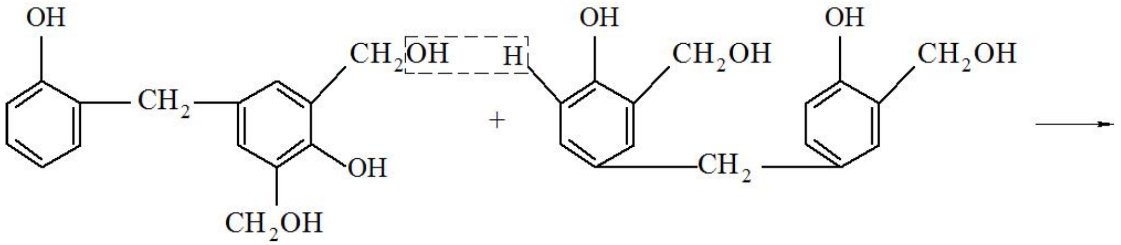


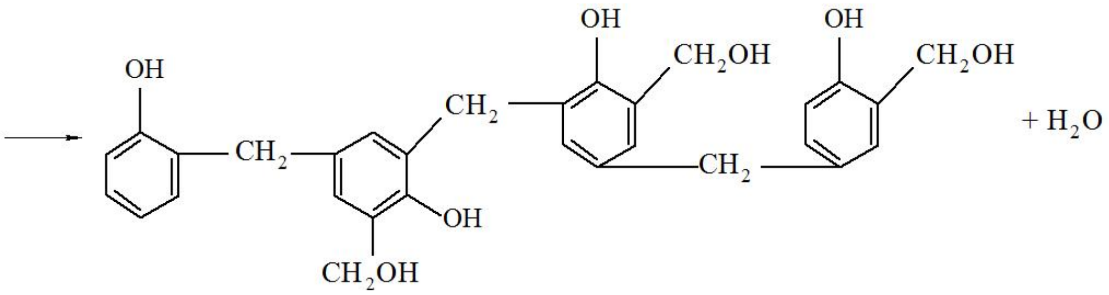
При температурах выше 70°С фенолоспирты взаимодействуют друг с другом с образованием двух- и трехъядерных соединений [2]:



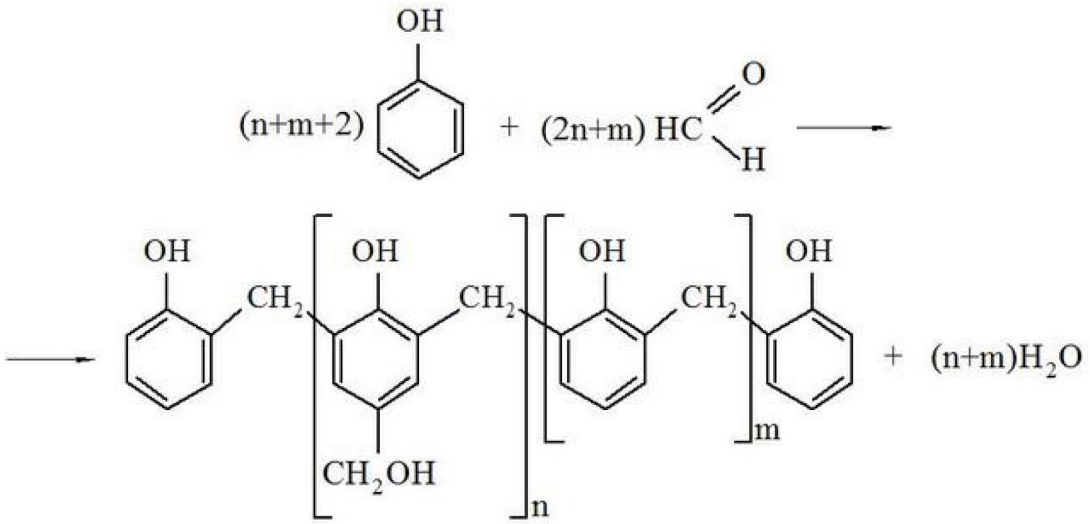


Образовавшиеся димеры могут реагировать с моноспиртами или друг с другом, образуя олигомеры с более высокой степенью поликонденсации, например [2]:





Общее уравнение поликонденсации в этом случае может быть представлено следующим образом [2]:



где m = 4 – 10, n = 2 – 5.

Полученная в результате подобной реакции поликонденсации смола называется резол.

Резольные смолы в некоторых случаях могут содержать также диметиленэфирные группы —CH_2—O—CH_2—, за счет чего из них при нагревании выделяется формальдегид.

Отверждение резольных смол

Резольные смолы представляют собой термореактивные полимеры, которые при нагревании подвергаются необратимому химическому разрушению без плавления. При этом происходит необратимое изменение свойств в результате сшивания молекулярных цепей поперечными связями. Смола отверждается и переходит из расплавленного состояния в твердое. Температура отверждения может быть, как высокой (80–160°C [9]) при горячем отверждении, так и низкой – при холодном отверждении. Отверждение происходит за счет взаимодействия функциональных групп самого материала или при помощи отвердителей, аналогичных применяемым для новолачных смол.

Резольные смолы отверждаются также при длительном хранении даже при обычной температуре.

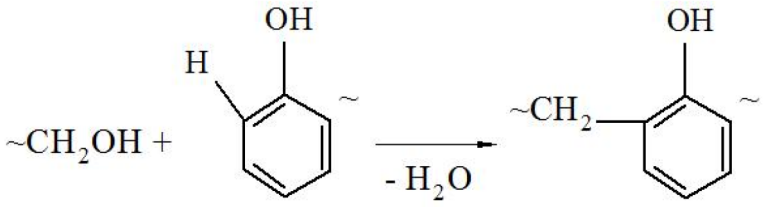
Различают три стадии конденсации или три типа резольных смол [8, 9]:

Стадия А (резол) – смесь низкомолекулярных соединений продуктов реакции поликонденсации;

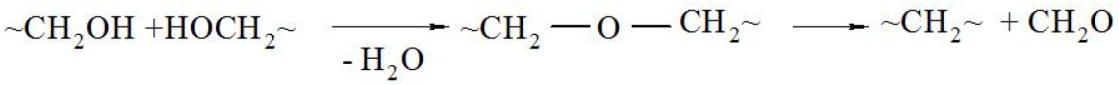
Стадия В (резитол) – смесь резольной смолы и высокомолекулярных неплавких и нерастворимых соединений.

Стадия С (резит) – смола, состоящая в основном из трехмерных высокомолекулярных соединений.

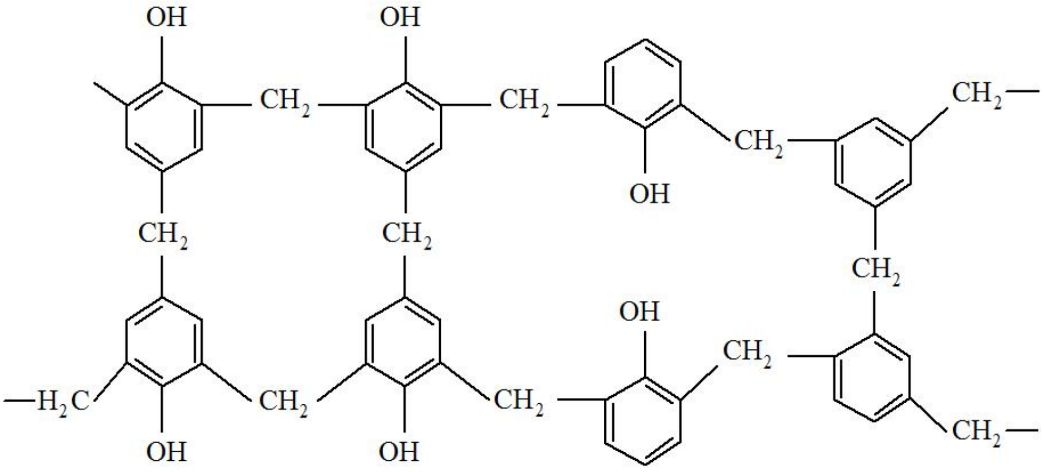
Эти превращения происходят в результате конденсации метилольных групп с подвижными атомами водорода в орто- и параположениях фенильного ядра [2]:



А также взаимодействия метилольных групп между собой [2]:



Строение резитов можно упрощенно представить следующим образом [2]:



Отверждение резольных смол может идти и на холоду в присутствии кислот (соляной, фосфорной, п-толуолсульфокислоты и др.). Отвержденные в присутствии нефтяных сульфокислот RSO_2OH (где R – углеводородный радикал) резиты называются карболитами, а в присутствии молочной кислоты $C_3H_6O_3$ – неолейкоритами.

При нагревании отверждение резольных смол ускоряется при добавке окислов щелочноземельных металлов: CaO, MgO, BaO.

Свойства резольных смол

В начальном состоянии (стадия А) резольные смолы разделяются на твердые и жидкие. Твердые («сухие смолы») представляют собой твердые хрупкие вещества от светло-желтого до красноватого цвета в зависимости от применяемого катализатора и по внешнему виду мало отличаются от новолачных смол (см. рис. 1). Резольные смолы содержат большее количество свободного фенола, чем новолачные смолы, что приводит к снижению их температуры плавления. Резольные смолы как и новолачные растворяются в спиртах, кетонах, сложных эфирах, фенолах, водных растворах щелочей, а также набухают в воде.

Основные свойства твердых резолов, выпускаемых промышленностью (марок ИФ) представлены в табл. 2 [7].

Таблица 2

Свойства твердых резольных смол

Молекулярная масса, г/моль	Плотность, кг/м^3	Содержание свободного фенола, %	Температура каплепадения, °С	Время желатинизации при 150°С, с
400 – 1000	1250 – 1270	5 – 12	70 – 110	60 – 120

Жидкие смолы представляют собой коллоидный раствор смолы в воде (рис. 2), получаемый в присутствии аммиачного или аммиачно-бариевого катализатора, и подразделяются на жидкие бакелиты и водоэмульсионные смолы.

Основные свойства жидких резолов, выпускаемых промышленностью (марок БЖ и ОФ) представлены в табл. 3 [7].

При нагревании или длительном хранении резол переходит в стадию В (резитол), а затем в стадию С (резит). Резитол нерастворим в растворителях, а только набухает в них, не плавится, но размягчается при нагревании.

Резит представляет собой твердое вещество цветом от светло-желтого до вишневого или коричневого. Резит не плавится

Рис. 2. Внешний вид жидких резольных смол

Таблица 3

Свойства жидких резольных смол

Марка	Плотность, кг/м^3	Вязкость, Па·с	Содержание свободного фенола, %	Содержание воды, %	Время желатинизации при 150°С, с
БЖ	1190 – 1230	0,5 – 3	8 – 16	15 – 19	60 – 240
ОФ	1130 – 1190	0,5 – 1,8	15	20 – 35	100 – 150

и не размягчается при нагревании, нерастворим и не набухает в растворителях.

Основные свойства резитов, получаемых при отверждении резольных смол представлены в табл. 4 [7].

спиртом $(CH_3)_3COH$; смолы этого типа широко используют в качестве основы для фенолоальдегидных лаков.

Фенолоформальдегидные смолы совмещают с др. олигомерами и полимерами, например с полиамидами – для придания более высокой тепло- и водостойкости, эластичности, адгезионных свойств; с поливинилхлоридом – для улучшения водо- и химстойкости; с нитрильными каучуками – для повышения ударной прочности и вибростойкости, с поливинилбутиралем – для улучшения адгезии (такие смолы – основа клеев типа БФ). Для снижения хрупкости и внутренних напряжений применяют реакционноспособные каучуки (тиокол, фторлон).

Таблица 4

Свойства резитов

Показатель	Величина
Плотность	1250 – 1380 кг/м^3
Разрушаемость от температуры	240 – 260°С
Водопоглощение через 24 часа	0,05 – 0,2 %
Предел прочности: – при растяжении – при сжатии – при статическом изгибе	 (42 – 67)·10^6 Па (8 – 15)·10^7 Па (8 – 12)·10^7 Па
Твердость по Бринеллю	10 – 50
Удельное электрическое сопротивление	1·10^{12} – 5·10^{14} Па
Электрическая прочность	10 – 14 кВ/мм
Диэлектрическая проницаемость при 50 Гц	0,05 – 0,1
Дугостойкость	Очень низкая
Стойкость против слабых кислот	Очень хорошая
Стойкость против щелочей	Разрушается

Модифицирующие добавки для ФФС

Для направленного изменения свойств фенолоформальдегидных смол используют метод химической модификации. Для этого в реакцию при их получении вводят компоненты, способные взаимодействовать с фенолом и формальдегидом.

В первую очередь это отвердители, которые были рассмотрены ранее. В качестве ускорителей отверждения фенолформальдегидных смол применяют сульфаты, фосфаты и хлориды аммония в количестве 0,1–5 % [3].

Возможно применение смеси резольных и новолачных смол. При этом получаются менее жесткие материалы с лучшими адгезионными свойствами.

При введении анилина $C_6H_5NH_2$ повышаются диэлектрические свойства и водостойкость, при введении карбамида CH_4N_2O – светостойкость, при введении фурилового спирта $C_4H_3OCH_2OH$ – химическая стойкость. Для улучшения стойкости к щелочам смолы модифицируют фтористыми соединениями бора или наполняют графитом или углем, а также добавляют до 20 % дихлорпропанола.

Для придания способности растворяться в неполярных растворителях и совмещаться с растительными маслами фенолоформальдегидные смолы модифицируют канифолью $C_{19}H_{29}COOH$, трет-бутиловым

Фенолоформальдегидные смолы используют для модификации эпоксидных смол с целью придания последним более высокой термо-, кислото- и щёлочестойкости. Возможна и модификация фенолоформальдегидных смол эпоксидными в сочетании с уротропином для улучшения адгезионных свойств, увеличения прочности и термостойкости изделий.

В последнее время фенолоформальдегидные смолы часто модифицируют меламином $C_3H_6N_6$, получая меламинофенолоформальдегидные смолы.

Технология получения ФФС и композиций на их основе

Основными стадиями технологического процесса производства ФФС и композиций на их основе являются приготовление реакционной смеси, поликонденсация и сушка [11].

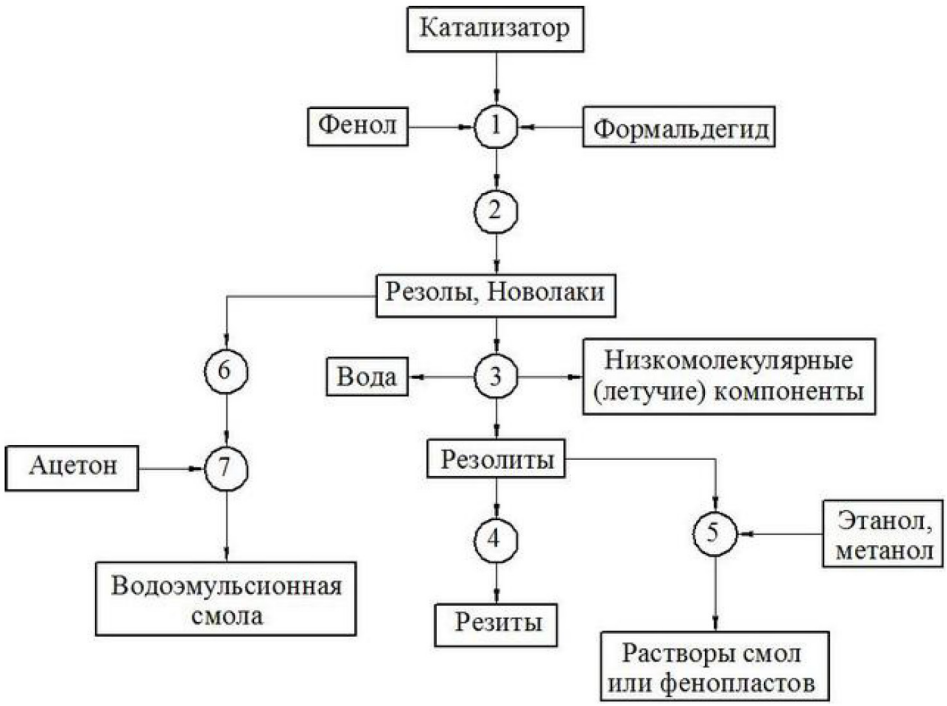


Рис. 3. Блок-схема технологического процесса производства ФФС и композиций на ее основе: 1– перемешивание в герметическом вакуумном реакторе с одновременным нагревом; 2 – поликонденсация в трубчатом холодильнике, сбор дистиллята и отвод в общую емкость (стадия А); 3 – обезвоживание и удаление низкомолекулярных (летучих) компонентов (стадия В); 4 – затвердевание в холодильном агрегате (стадия С); 5 – получение растворов; 6 – охлаждение до заданной вязкости и отделение надсмольной воды в отстойнике; 7 – сушка под вакуумом и разбавление растворителем

Приготовление реакционной смеси заключается в плавлении фенола и получении водных растворов катализатора. Реакционную смесь готовят либо в алюминиевых смесителях, либо непосредственно в реакторе. Состав реакционной смеси и технологические режимы производства зависят от вида получаемой смолы (НС или РС), функциональности и реакционной способности фенольного сырья, pH реакционной среды применяемого катализатора и вводимых добавок [9].

Производство новолачных смол и лаков

В производстве новолачных смол в качестве катализатора применяют соляную, реже щавелевую кислоту. Преимуществом соляной кислоты является высокая каталитическая активность и летучесть. Щавелевая кислота – менее активный катализатор, чем соляная кислота, однако процесс поликонденсации в ее присутствии легче управляем, а смолы получаются более светлыми и светостойкими. Каталитическое действие на процесс поликонденсации оказывает также муравьиная кислота, всегда присутствующая в формалине.

Обычно для производства новолачной смолы применяются следующие соотношения компонентов, (мас. ч.) [2]: фенол = 100; соляная кислота (в перерасчёте на HC1) = 0,3; формалин (в пересчете на формальдегид) = 27,4. Формалин представляет собой водный раствор, содержащий 37 – 40 % формальдегида и 6 – 15 % метилового спирта в качестве стабилизатора.

При периодическом методе получения НС (рис. 4) поликонденсацию и сушку проводят в одном реакторе. Для проведения поликонденсации смесь фенола и формальдегида загружают в реактор, снабженный теплообменной рубашкой и мешалкой якорного типа. Одновременно подают половину требуемого количества соляной кислоты (катализатор добавляется частями во избежание слишком бурного течения реакции). Реакционную смесь перемешивают в течении 10 минут и отбирают пробу для определения pH. Если pH находится в пределах 1,6—2,2 в рубашку реактора подают пар и нагревают реакционную смесь до 70 – 75°C. Дальнейший подъем температуры происходит за счёт теплового эффекта реакции [3].

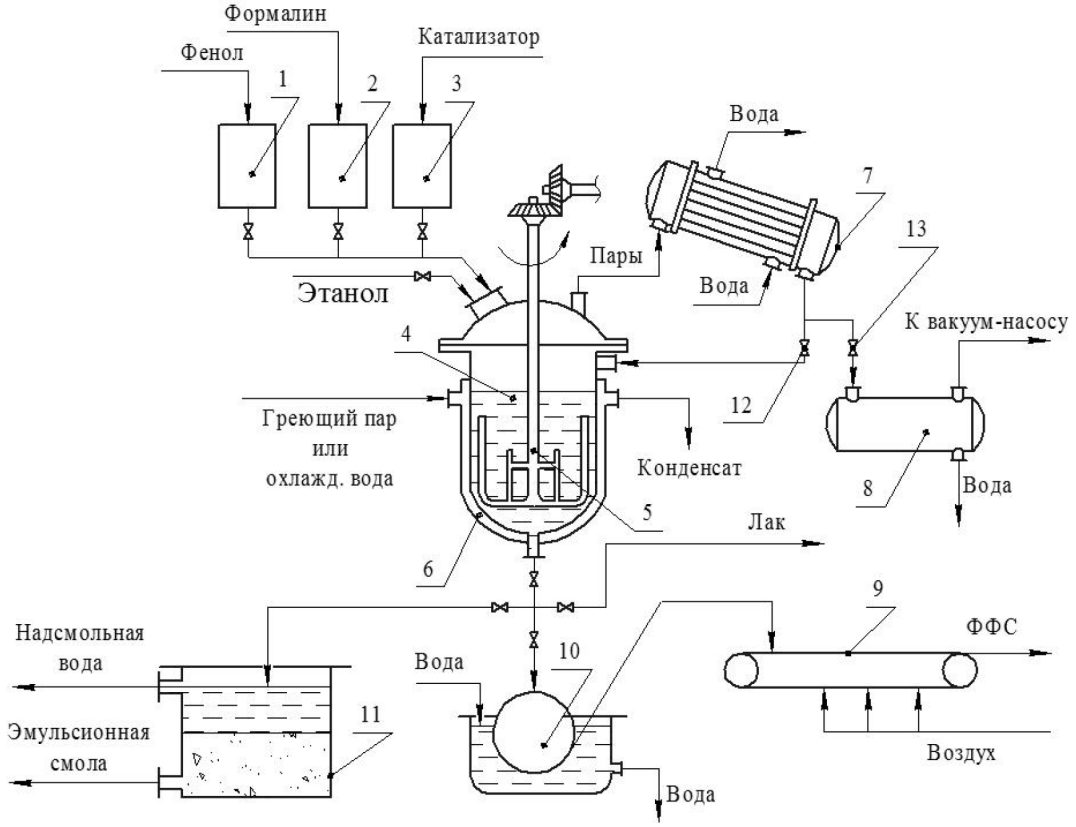


Рис. 4. Технологическая схема получения ФФС периодическим способом:
1 – 3 – мерники; 4 – реактор; 5 – якорная мешалка; 6 – теплообменная рубашка; 7 – холодильник-конденсатор; 8 – сборник конденсата; 9 – транспортер; 10 – охлаждающий барабан;
11 – отстойник; 12 – кран для подачи конденсата в реактор; 13 – кран для отвода воды и летучих компонентов из реактора

При достижении температуры смеси 90°С прекращают перемешивание и для предотвращения бурного кипения в рубашку подают охлаждающую воду, подачу которой прекращают после установления равномерного кипения. В этот момент вновь включают мешалку, добавляют вторую половину от общего количества соляной кислоты, а спустя 10–15 минут возобновляют подачу пара в рубашку реактора. Образующиеся в процессе кипения пары воды и формальдегида попадают в холодильник-конденсатор, из которого образующийся водный раствор вновь поступает в реактор.

Если вместо соляной кислоты применяется щавелевая, то ее загружают в количестве 1% от массы фенола в виде водного 50%-го раствора и в один прием, так как процесс протекает не столь интенсивно, как в присутствии соляной кислоты.

Поликонденсацию заканчивают, когда плотность образующейся эмульсии достигнет 1170 – 1200 кг/м^3 в зависимости от природы фенольного сырья. Кроме плотности у получаемой смолы определяют способность к гелеообразованию путем нагрева до 200°С. В общей сложности длительность процесса составляет 1,5–2 часа.

По окончании реакции смесь в реакторе расслаивается: смола собирается внизу, а вода, выделившаяся при реакции и внесенная с формальдегидом, образует верхний слой. После этого начинают стадию сушки смолы. Воду и летучие вещества отгоняют, создавая в аппарате вакуум и используя конденсатор для их отвода в сборник конденсата. Во избежание переброса смолы в холодильник вакуум увеличивают постепенно. Температуру смолы к концу сушки постепенно повышают до 135–140°С. После завершения сушки следует выдержка при повышенной температуре (термообработка). Конец сушки и термообработки определяют по температуре каплепадения смолы, которая должна быть в пределах 95–105°С.

В готовую смолу вводят смазку (для некоторых видов пресс-порошков), перемешивают в течение 15–20 мин и сливают на охлаждающий барабан. Смола измельчается, попадает на обдуваемый воздухом транспортер, где охлаждается окончательно, после чего ее затаривают в бумажные мешки [2, 3].

Для получения лака высушенную смолу растворяют в этиловом спирте, который по окончании процесса сушки заливают непосредственно в реактор. Перед растворением прекращают подачу пара в рубашку и холодильник переключают на обратный. Нередко проводят совместную конденсацию формальдегида с фенолом и анилином. Полученные таким образом смолы являются связующими для пресс-порошков, из которых получают изделия с повышенными диэлектрическими свойствами. Отрицательное свойство анилинофенолоформальдегидных смол – их способность к самовозгоранию в процессе изготовления и при сливе.

Получение НС непрерывным способом (см. рис. 7) проводят в колонных аппаратах, работающих по принципу «идеального» смешения [2] и состоящих из трех или четырех секций, называемых царгами. Смесь фенола, формалина и части соляной кислоты готовят в отдельном смесителе и подают в верхнюю царгу, где она вновь перемешивается. После этого частично прореагировавшая смесь по переточной трубе переходит из верхней части царги в нижнюю часть следующей царги, последовательно проходя все секции аппарата. При этом в каждую царгу подается дополнительная порция соляной кислоты и происходит перемешивание смеси. Процесс проводят при температуре кипения смеси, равной 98–100°С [2, 3].

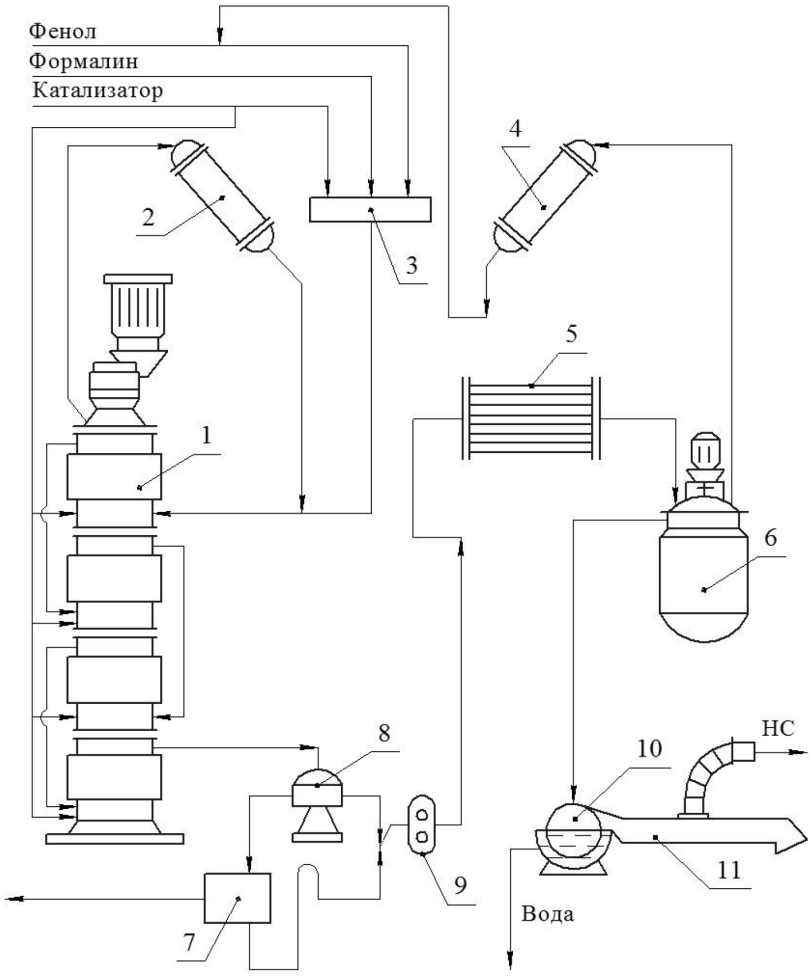


Рис. 5. Технологическая схема получения ФФС непрерывным способом:
1 – колонный реактор; 2,4 – холодильники; 3 – смеситель; 5 – сушильный аппарат (теплообменник); 6 – смолоприемник; 7 – отстойник; 8 – флорентийский сосуд; 9 – шестеренчатый сосуд; 10 – охлаждающий барабан; 11 – транспортер

Водно-смоляная эмульсия из нижней царги поступает для разделения в сепаратор, представляющий собой флорентийский сосуд. Водная часть из верхней части сепаратора подается в отстойник, а затем на дальнейшую очистку, а смоляную часть из сепаратора и отстойника шестеренчатым насосом перекачивается в трубное пространство теплообменника, в межтрубное пространство которого подается греющий пар под давлением 2,5 МПа. Смола в виде тонкой пленки движется по поверхности трубок теплообменника, нагреваясь до температуры 140–160°С. Полученная смесь смолы и летучих веществ попадает в смолоприемник – стандартизатор. Здесь летучие вещества удаляются из смолы и через верхнюю часть аппарата отводятся для последующей конденсации и подачи в смеситель для исходной реакционной смеси.

Горячая смола из смолоприемника сливается на барабан, который изнутри и снаружи охлаждается водой. В результате получается тонкая пленка смолы, которая подается на движущийся транспортер, где происходит окончательное охлаждение и испарение воды. Готовая смола может затариваться в мешки или отправляться на смешивание с добавками для получения различных композиций.

Производство резольных смол и лаков

В производстве резольных смол в качестве катализатора в основном применяют водный раствор аммиака. При большем избытке формальдегида роль катализаторов могут выполнять NaOH, KOH или $Ba(OH)_2$.

Обычно резольную смолу получают при следующих соотношениях компонентов, (мас.ч.) [2]: фенол = 100; аммиак (в виде водного раствора) = 1 – 1,5; формальдегид = 37.

Технологическая схема получения резольных смол в значительной степени аналогична схеме для получения новолачных смол (см. рисунки 6 и 7), однако есть и некоторые отличия. Так как тепловой эффект реакций получения резольных смол значительно меньше, чем при синтезе новолачных смол, катализатор вводится в реакционную смесь в один прием. Готовность смолы определяется путем определения ее вязкости и показателя преломления.

Сушку смолы начинают под вакуумом (93 кПа) при температуре 80°С с постепенным повышением давления и температуры (до 90–100°С) к концу процесса [2, 9]. Контроль сушки проводят путем определения времени гелеобразования смолы при 150°С.

При получении резольных смол важно не превышать температуру и строго выдерживать время, так как при несоблюдении температурно-временного режима возможно начало гелеобразования смолы в реакторе. Чтобы избежать гелеобразования высушенной смолы проводят ее быстрое охлаждение сразу после слива из реактора. Для этого ее сливают в вагоны-холодильники, представляющие собой тележки с вертикальными полыми металлическими плитами. Смолу сливают таким образом, чтобы в полостях соседних плит находилась охлаждающая вода.

Лаки и анилинофенолоформальдегидные смолы на основе резола получают таким же образом как и композиции на основе новолачных смол.

Производство эмульсионных резольных смол

Эмульсионные резольные смолы получают из смеси фенола или крезола с формалином в присутствии катализатора, в качестве которого чаще всего применяют $Ba(OH)_2$. Реакционную смесь нагревают в реакторе до 50–60°С, после чего она разогревается за счет теплового эффекта реакции. Температура смеси поддерживается в интервале 70–80°С и в случае перегрева в рубашку реактора подают охлаждающую воду. Синтез заканчивают, когда вязкость смолы при 20°С достигнет значений 0,16–0,2 Па·с [2, 9].

После этого реакционную смесь охлаждают до 30–45 °С [11], а затем подают в отстойник для отделения верхней водной части или проводят подсушку смолы под вакуумом до вязкости 0,4 Па·с с последующим разбавлением небольшим количеством ацетона. Стоит учитывать, что возможна дальнейшая самопроизвольная поликонденсация полученной эмульсионной смолы, для исключения которой ее хранят в охлаждаемых емкостях.

При производстве эмульсионных смол для получения пресс-материалов с длинноволокнистым наполнителем в качестве катализатора применяют NaOH. При этом время приготовления смолы составляет 100 минут с последующим охлаждением при температуре 70–80°С [11] путем подачи охлаждающей воды в рубашку реактора. После достижения смолой вязкости в пределах 0,02–0,15 Па·с [9] ее охлаждают до 30–35°С, отделяют от воды в отстойнике и переливают в охлаждаемый сборник. Готовая смола содержит до 20% свободного фенола и 20–35% воды [2].

Производство фенолоспиртов и фенолоформальдегидных концентратов

Фенолоспирты являются промежуточными продуктами получения резольных

смол и отличаются высокой стабильностью при хранении. Они применяются для получения резольных смол, прес-материалов и пропитки пористых наполнителей таких как древесина или гипс [2].

Для получения фенолоспиртов применяют реактор такого же типа, что и в производстве фенолоформальдегидных смол периодическим способом (см. рис. 4), в который загружают 37%-й водный раствор, в котором соотношение формальдегид : фенол составляет 1,15 : 1 и выше [2, 9]. После растворения фенола в реактор добавляют концентрированный водный раствор NaOH из расчета 1,5 мас.ч. на 100 мас.ч. фенола [2]. Полученную реакционную смесь нагревают до 40 °С при помощи подачи пара в рубашку реактора. Затем смесь нагревается за счет теплового эффекта реакции. Путем подачи в рубашку реактора охлаждающей воды выдерживают температуру смеси в пределах 50 – 70°С в течении 5– 12 часов. Готовность фенолоспиртов определяют по содержанию свободного фенола (9–15% в конце процесса [2]) или свободного формальдегида. По окончанию процесса раствор фенолоспиртов охлаждают до 30 °С и переливают в алюминиевые бочки или бидоны.

Фенолформальдегидный концентрат также упрощает условия транспортировки и хранения обычными резольными смолами, так как не застывает в обычных условиях и не дает осадка параформа. На его основе получают резольные смолы и пресс-материалы, по качеству не уступающие обычным резольным смолам и пресс-материалам, получаемым из них. При этом содержание воды в концентрате на 15–20% ниже, чем при использовании 37%-го водного раствора формальдегида и фенола [1, 2].

Заключение

Из представленных в работе сведений следует, что ФФС отличаются большим разнообразием свойств, являясь термопластичными или термореактивными и изначально могут находиться в жидком или твердом состояниях. ФФС хорошо совмещаются с большинством полимеров, что открывает широкие возможности по получению материала, сочетающего преимущества нескольких полимеров.

Это во многом объясняет распространенность фенолформальдегидных пластмасс (фенопластов), представляющих собой композиционные материалы на основе ФФС с различными наполнителями. Благодаря своим прочностным и электроизоляционным свойствам, а также возможностью эксплуатации при высоких температурах и в любых климатических условиях, фенопласты успешно применяются для изготовления конструкционных, фрикционных и антифрикционных изделий, корпусов и деталей электротехнических приборов, для получения строительных материалов и изделий (в том числе во вспененном состоянии), а также в других отраслях промышленности, заменяя сталь, стекло и другие материалы.

Сырьевые материалы для получения ФФС и композиций на их основе являются широко распространенными, а технологии производства относительно не сложными, что позволяет получать их в больших объемах. Главным недостатком ФФС и композиций на их основе, ограничивающим их применение является их сравнительно высокая токсичность. Однако производство и применение ФФС и композиций на их основе остается актуальным и сегодня в связи с востребованностью этого материала, которую можно объяснить не только его эксплуатационными свойствами, но и сравнительно невысокой себестоимостью, износостойкостью и долговечностью.

Список литературы

1. Бахман А., Мюллер К. Фенопласты / А. Бахман, К. Мюллер; пер. с нем. Л.Р. Вин, В.Г. Гевита. – М.: Химия, 1978. – 288 с.

2. Брацыхин Е.А., Шульгина Э.С. Технология пластических масс: учеб. пособие для техникумов / Е.А. Брацыхин, Э.С. Шульгина. – 3–е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.

3. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. и др. Основы технологии переработки пластмасс /С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев – М.: Химия, 2004 – 600 с.

4. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты / З.А. Кочнова, Е.С, Жаворонок, А.Е. Чалых – М.: ООО “Пэйнт-Медиа”, 2006. – 200 с.

5. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.

6. Кутянин Г.И. Пластические массы и товары бытовой химии / Г.И. Кутятин – М.: Химия, 1982. – 186 с.

7. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы / Ю.А. Михайлин – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.

8. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов [Текст] / В.М. Никифоров. – 9–е изд., стер. – СПб.: Политехника, 2009 – 382 с.

9. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии / под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2009. – 560 с.

10. Технология важнейших отраслей промышленности: Учебник / под ред. А.М. Гинберга, Б.А. Хохлова – М.: Высшая школа.,1985. – 496 с.

11. Технология пластических масс / под. ред. В.В. Коршака – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 560 с.

12. Энциклопедия полимеров. Том 3 / под ред. В.А. Кабанова – М.: Советская энциклопедия, 1977. – 1152 с.

УДК 62-82:621.91

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДВИГАТЕЛЯМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вольнов О.И.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail:volnovoleg@yandex.ru

Настоящая статья посвящена анализу применяемых в различных приводах универсальных и специальных металлорежущих станков, автоматических линий и автооператоров способов управления гидродвигателями. Анализируются такие часто применяемые способы управления, как машинный, дроссельный и машинно-дроссельный. При выборе оптимального способа регулирования главным критерием считается минимальная затрачиваемая гидравлическая мощность насосной установки, при выполнении всего технологического процесса. Анализируются также энергетические потери в гидросистемах при работе технологического оборудования на различных этапах технологического процесса обработки изделий. На примерах гидросистем станков отмечаются достоинства и недостатки применяемых способов управления при параллельной и последовательной работе гидродвигателей, предлагаются методы снижения энергозатрат. Уточняется область применения различных способов управления, даются рекомендации по минимизации энергетических потерь. Предлагаются варианты гидроприводов, реализующих достоинства машинного и дроссельного управления при последовательно-параллельной работе гидродвигателей.

Ключевые слова: гидросистема, технологическое оборудование, способы управления, энергетические затраты

SELECTION OF THE OPTIMUM METHOD OF MANAGEMENT OF HYDRO-ENGINES OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Volnov O.I.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: volnovoleg@yandex.ru

The present article is devoted to the analysis of universal and special metal-cutting machines used in various drives, automatic lines and auto operators of methods for controlling hydro-motors. Machine, throttle and machine-throttle controls are analyzed as the most commonly used. The minimum hydraulic power of the pumping unit is considered to be the main criterion in choosing of the optimal control method for the entire process. Also the energy losses in hydraulic systems during the operation of process equipment at various stages of the technological process of processing products are analyzed. Advantages and disadvantages of the applied control methods for parallel and sequential operation of hydraulic motors are noted on the examples of hydraulic systems of machine tools, methods of reducing energy costs are proposed. The scope of various management methods is being specified, recommendations for minimizing energy losses are given. Variants of hydraulic drives realizing the advantages of machine and throttle control in the series-parallel operation of hydraulic motors are offered.

Keywords: hydraulic system, technological equipment, management methods, energy costs

Выбор способа управления (машинное, дроссельное, машинно-дроссельное) для конкретного привода зависит от многих факторов, основными из которых являются циклограмма работы гидросистемы, количество регулируемых приводов и параметры нагрузки, действующей на рабочий орган. При проектировании гидросистемы задача выбора оптимального способа управления возникает после расчета основных параметров гидродвигателей – давлений и расходов в процессе работы оборудования на всех этапах цикла (быстрый подвод, замедленный подвод, быстрый отвод) [3]. На основании построенных диаграмм давлений и расходов выбирается оптимальный вариант насосного агрегата и клапана давления. По диаграмме расходов определяется производительность насоса, а по диаграмме давлений – максимальное давление напорного клапана . Оба эти параметра определяют гидравлическую мощность, затрачиваемую приводом в процессе работы. Если считать все способы управления гидродвигателями равноценными, с точки зрения выполнения требуемого для изготовления изделия технологического процесса, то главным критерием оптимальности следует считать минимальную гидравлическую мощность $N = p_К Q_Н$, где $p_К$ – давление настройки напорного клапана, $Q_Н$ – производительность насоса. Согласно приведенной формуле уменьшать гидравлическую мощность можно, уменьшая давление $p_К$, производительность $Q_Н$, или давление и производительность.

Машинное управление. Достоинством машинного способа является высокий КПД гидросистемы, из-за отсутствия отвода избытков масла через напорный клапан при рабочем ходе. Недостатком – синхронное изменение скорости одновременно работающих гидродвигателей. Следует указать еще на один недостаток – невозмож-

ность применения машинного управления гидродвигателями, рабочие органы которых работают с переменными и знакопеременными нагрузками. Связано это с тем, что при этом способе давление в напорной линии гидродвигателя обеспечивает ему лишь одностороннюю жесткость. Отсутствие противодавления может привести к неравномерному движению рабочего органа при переменной нагрузке [2]. Установка гидравлического сопротивления в сливной линии (подпорного клапана) уменьшает неравномерность движения, но приводит к увеличению давления $p_К$.

На рис. 1 изображен упрощенный вариант гидропривода с машинным управлением. Гидроцилиндр ГЦ1 перемещает рабочий орган станка в горизонтальной плоскости. Гидроцилиндр ГЦ2 перемещает другой рабочий орган в вертикальной плоскости, а клапаны КД и КО удерживают его после отключения гидросистемы. Для регулирования скорости рабочих органов применен регулируемый насос НР, а изменение давления достигается с помощью клапана КДП с пропорциональным управлением. При последовательной работе гидродвигателей ГЦ1 и ГЦ2 расходы $Q_Н$ и давления $p_К$, для каждого этапа цикла работы технологического оборудования, настраиваются системой управления СУ в соответствии с расчетными. Поэтому машинный способ в такой реализации является оптимальным. Ограничениями для его применения следует считать абсолютные значения и характер изменения нагрузок на рабочие органы в процессе работы оборудования. При параллельной работе скорости рабочих органов будут изменяться синхронно, а КДП будет настроен на расчетное давление одного из гидродвигателей.

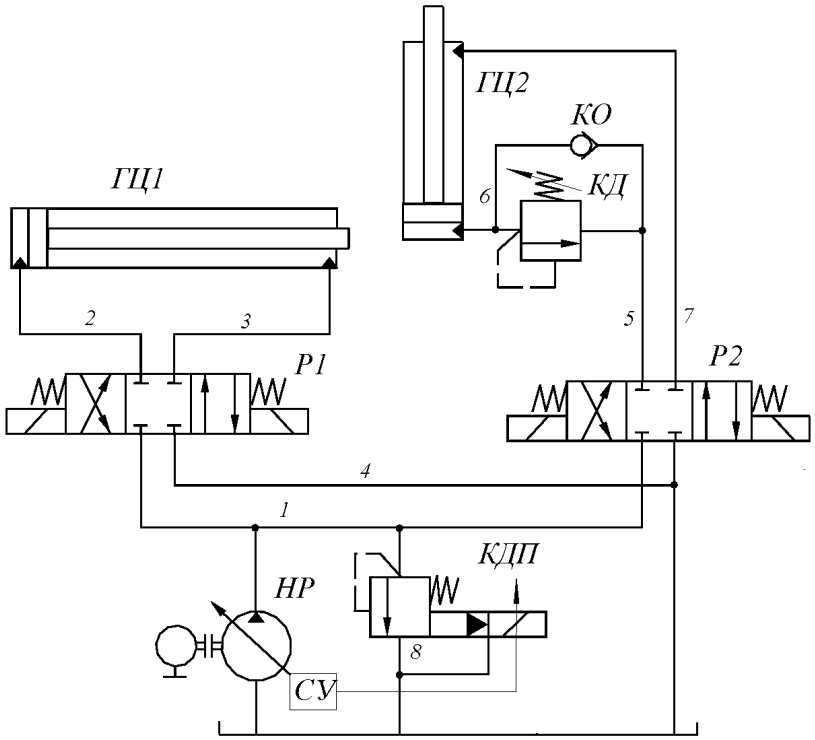


Рис. 1. Гидропривод с машинным управлением:
НР – насос с регулируемой производительностью; КДП – клапан давления с пропорциональным управлением; СУ – система управления; Р1, Р2 – распределители 4/3; ГЦ1, ГЦ2 – гидроцилиндры; КД – клапан давления; КО – обратный клапан

Дроссельное управление. Основное достоинство этого вида управления – возможность создания гидросистем с несинхронным управлением несколькими гидродвигателями. Классический пример схемы с дроссельным управлением – насос постоянной производительности, клапан давления с ручной регулировкой, дроссели и регуляторы расхода в цепях управления гидродвигателями. В такой гидросистеме гидравлическая мощность – постоянная и максимальная, не зависящая от работы гидродвигателей. Снижение затрат энергии возможно за счет изменения давления $p_К$. Чаще всего это реализуется применением гидроразгрузки одного или обоих насосов. Однако ступенчатое изменение производительности насоса $Q_Н$ также дает положительный эффект (насосная установка типа Г48–4 [4]).

Дальнейшее уменьшение энергозатрат достигается применением автоматически регулируемого клапана давления КДП в насосной установке, рис. 2. Гидроцилиндр ГЦ1 приводит в движение рабочий орган (стол станка) со скоростями ускоренного подвода, отвода и рабочей подачи. На этапе рабочей подачи происходит обработка изделия, для реализации которой требуется максимальное давление в напорной линии ГЦ1. Во время ускоренного подвода и отвода изделия от инструмента давление в напорной линии цилиндра значительно меньше $p_К$. Поэтому настройка клапана давления КДП на пониженное давление, в эти моменты работы оборудования, уменьшит затраты энергии.

Для работы цилиндров ГЦ*2* (привод шторок) и ГЦ*3* (переключение скоростей привода главного движения) тоже не требуется высокого давления. Следовательно, и на этом этапе цикла обработки изделия можно сэкономить, автоматически переналаживая давление $p_К$.

Снижение энергозатрат при последовательной работе гидродвигателей очевидно. Но даже тогда, когда часть гидродвигателей работают одновременно, затраты энергии будут меньше, чем при использовании клапана давления с ручной регулировкой. В этом случае клапан КДП будет настраиваться по наибольшему давлению одного из цилиндров вспомогательного движения.

Машинно-дроссельное управление. В гидросистемах с таким управлением используются достоинства обоих способов – сравнительно высокий КПД машинного и возможность параллельной работы нескольких гидродвигателей, дроссельного.

Ступенчатое изменение подачи рабочей среды к гидродвигателям (машинное управление) достигается применением нескольких насосов, рис. 3. Скорость движения рабочих органов, приводимых цилиндрами, настраивается дросселями (дроссельное управление). В гидросистеме применены два насосных агрегата с насосами постоянной производительности НА1 и НА2. Каждый из насосов может подавать рабочую среду, либо в напорную линию, либо с помощью распределителей Р6, Р7, Р*8* – в гидробак. Если объединить в группы гидродвигатели, работающие последовательно или параллельно, один раз за полный цикл

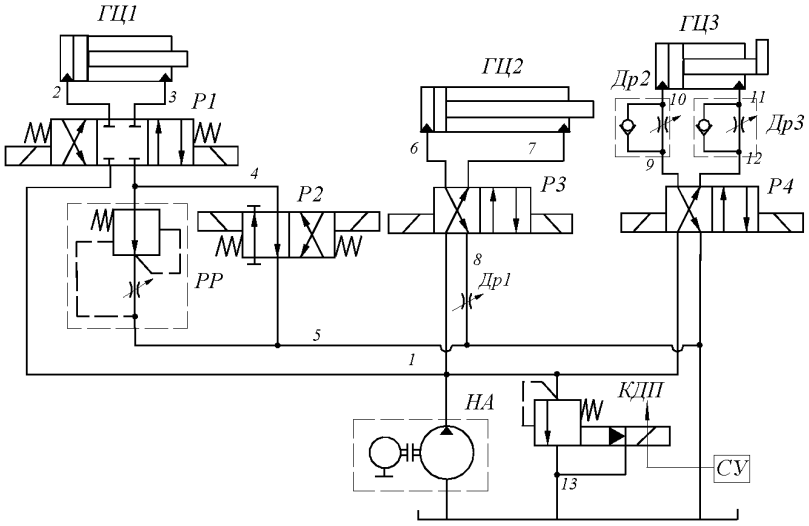


Рис. 2. Гидропривод с дроссельным управлением:
НА – насосный агрегат; КДП – клапан давления с пропорциональным управлением; СУ – система управления; Р1… Р4 – гидрораспределители; ГЦ1… ГЦ3 – гидроцилиндры; РР – регулятор расхода; Др1 – дроссель; Др2, Др 3 – дроссели с обратным клапаном

обработки изделия, и подключить их к одному насосному агрегату, то появляется возможность отключать его на время простоя гидродвигателей.

В гидроприводе, изображенном на рис. 4а, применен машинно-дроссельный способ управления. Производительность насоса НР сначала плавно

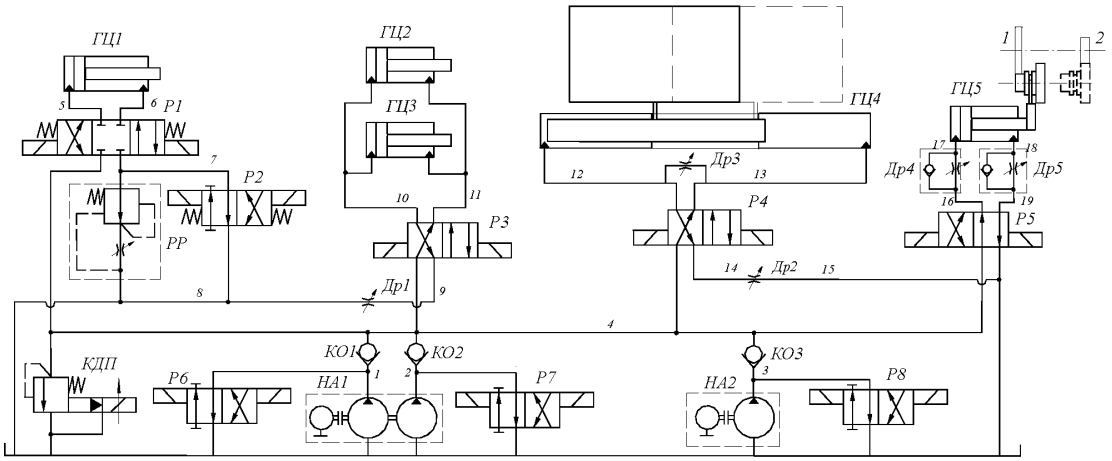


Рис. 3. Гидропривод с двумя насосными агрегатами:
НА1, НА2 – насосные агрегаты; КДП – клапан давления с пропорциональным управлением;
Р1… Р8 – гидрораспределители; ГЦ1… ГЦ5 – гидроцилиндры; РР – регулятор расхода;
Др1… Др3 – дроссели; Др4, Др5– дроссели с обратным клапаном, КО1…КО3 – обратные клапаны

В приведенном примере гидроцилиндры ГЦ4 (привод шторок) и ГЦ5 (переключение блока зубчатых колес привода главного движения) работают в начале цикла обработки. После закрытия шторок, в зависимости от длительности цикла обработки, насосный агрегат НА2 можно выключить или разгрузить насос. Подключение всех насосов к общей напорной линии и их гидравлическая разгрузка позволяют оптимизировать работу гидросистемы – получать требуемые скорости рабочих органов с минимальными потерями энергии.

уменьшается, рис. 4,б, от Q_0 до 0,9 $Q_{ном}$ при повышении давления от 0 до p_1, после чего резко уменьшается до нуля, при незначительном повышении давления от p_1 до p_2, настраиваемого с помощью регулятора давления [4]. Поэтому применение такого насоса для гидросистем с машинно-дроссельным управлением экономически целесообразно, если при работе гидродвигателей давление в напорной линии будет, либо близким к нулю, либо в пределах p_1… p_2. Клапан КД применен в качестве предохранительного.

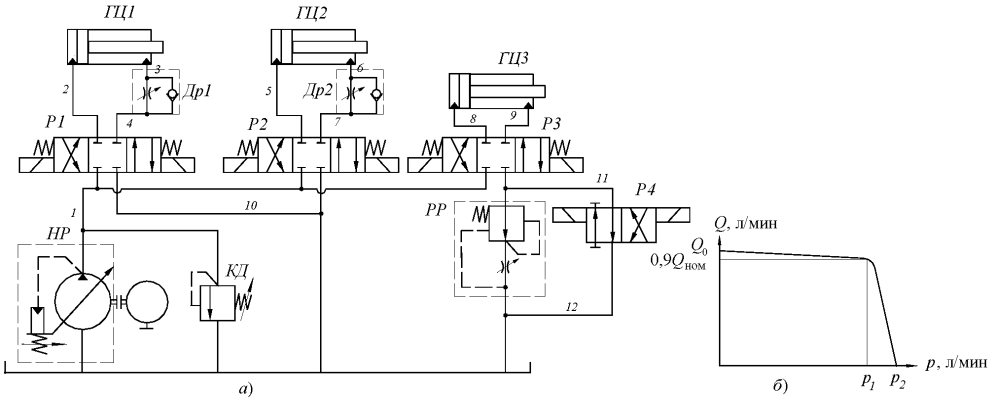


Рис. 4. Гидропривод с машинно-дроссельным управлением (а)
и регулировочная характеристика насоса (б):
НР – насос с автоматически регулируемой производительностью; КД – клапан давления;
Р1… Р4 – гидрораспределители; ГЦ1… ГЦ3 – гидроцилиндры; РР – регулятор расхода; Др1, Др2 – дроссели с обратным клапаном; Q – производительность насоса; p – давление в гидросистеме

Давление в линии 1, определяемое работой цилиндра ГЦ3, при рабочем ходе стола станка (обработка изделия), как правило, высокое. На это давление и будет настроен регулятор давления насоса. Гидроцилиндры ГЦ1 и ГЦ2 приводят в движение вспомогательные органы станка. Требуемое для их работы давление ниже настроенного, а расход меньше подачи насоса. Поэтому, при последовательной работе этих приводов, из-за больших потерь на дросселях Др1, Др2, затрачиваемая гидравлическая мощность при движении рабочих органов вправо, будет больше расчетной. Оптимизировать работу такого гидропривода можно, если заменить насос НР и клапан КД, рис. 4, а на одну из насосных установок [1], чувствительных к нагрузке, или используемую в гидросистеме рис. 1.

Заключение

По результатам анализа, приведенных выше способов управления гидродвигателями, можно сделать следующие выводы.

Если по циклограмме работа всех гидродвигателей должна происходить последовательно, то применение машинного способа управления уменьшит потребление электроэнергии, нагрев рабочей среды и увеличит срок службы гидросистемы. При параллельной работе гидродвигателей применение машинного способа управления приведет к синхронному изменению скоростей всех гидродвигателей. Если это невозможно по условиям работы технологического оборудования, то следует применить дроссельное регулирование скорости, отдельно для каждого гидродвигателя. Если по циклограмме работы оборудования гидродвигатели управляются последовательно-параллельно, то применение машинно-дроссельного способа может быть в некоторых случаях оправдано (применение нескольких насосов или гидроагрегатов). Следует помнить о том, что управляемые машины значительно дороже неуправляемых.

При использовании дроссельного способа регулирования, для стабилизации скорости, можно использовать простой в обращении и недорогой аппарат – регулятор расхода (например, дроссель с редукционным клапаном). Для стабилизации скорости, при реализации машинного способа управления, необходима установка внешнего датчика скорости рабочего органа и передача данных через систему управления на управляемую гидромашину (насос).

Очень важным параметром циклограммы работы оборудования является время работы гидродвигателя на медленной скорости движения рабочего органа. Оно может тоже влиять на выбор способа управления гидродвигателями. В процессе работы гидродвигателя с медленной скоростью движения давление, как правило, поддерживается постоянным и максимальным (например, при обработке изделия на станке), а расход рабочей среды при этом минимальный. При дроссельном способе регулирования (насос постоянной производительности) в этом случае полезный расход (объем рабочей среды, требуемый для реализации медленной скорости рабочего органа) небольшой. Он может быть на порядок меньше производительности насоса. Это тот случай, когда машинный или машинно-дроссельный способ управления может быть эффективным. Но окончательный выбор способа (машинный, дроссельный, машинно-дроссельный) можно сделать только после тщательного расчета экономической эффективности работы оборудования в целом.

Список литературы

1. Вольнов О.И. Уменьшение энергетических затрат гидросистемами технологического оборудования // Фундаментальные исследования. – 2015. – №6.

2. Лепешкин А.В., Михайлин А.А. Гидравлические и пневматические системы / Издательский центр «Академия», 2004. – 332 с.

3. Наземцев А.С. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2. Гидравлические приводы и системы. Основы: Учебное пособие / А.С. Наземцев, Д.Е. Рыбальченко. – М.: ФОРУМ. 2007 – 304 с.

4. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: Справ. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2012. – 640 с.

УДК 53:37

СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА – НОВЫЙ ЭТАП ДИАЛОГА ЧЕЛОВЕКА С ПРИРОДОЙ

[1]Воронов В.К., [2]Геращенко Л.А.

[1]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, e-mail: voronov@istu.edu.ru;

[2]Братский государственный университет, Братск, e-mail: Gerashsenko@mail.ru

В статье дано изложение содержания комплекта учебников под общим названием «Современная физика», состоящего из трех книг, в которых нашли отражение достижения физики примерно за пятьдесят – шестьдесят лет, начиная с середины двадцатого века. Первый учебник состоит из десяти глав. Вторая книга включает пять глав. В третьей книге, состоящей из трех частей, излагаются физические основы нанотехнологий. Учебники написаны на основании материала, отобранного из различных источников (обзорные статьи, монографии). Преимущественные источники, которыми пользовались авторы – статьи, опубликованные в журнале «Успехах физических наук». Общий объем трех книг – порядка восьмидесяти печатных листов. Изложению структуре комплекта учебников предпослано изложение мотивом, побудивших авторов его подготовить. Отмечается, в связи с этим, что стремительный рост научной информации и все более усиливающая интеграция различных разделов ставят проблемы методологического характера, которые необходимо решать в процессе издания учебной литературы. Отмечается также, что с середины двадцатого время и по настоящее время создан ряд новых разделов физики, в том числе, нелинейная оптика, физика открытых систем, квантовая информация, разделы, связанные с изучением строения и динамики молекул. Имеется достаточно обширная научная литература по новым разделам физики в виде оригинальных статей и обзоров, публикуемых в специализированных периодических изданиях. Однако она рассчитана, главным образом, на специалистов. Что касается учебной литературы, то она практически отсутствует.

Ключевые слова: современная физика, конденсированное состояние, плазменное состояние, наноматериалы

THE MODERN PHYSICS-A NEW STAGE OF DIALOGUE OF MAN WITH NATURE

[1]Voronov V.K., [2]Gerashchenko L.A.

[1]Irkutsk national research technical university, Irkutsk, e-mail: voronov@istu.edu.ru;

[2]Bratsk state university, Bratsk, e-mail: Gerashsenko@mail.ru

The article given presentation of the contents of the kit tutorials titled «Modern Physics», consisting of three books which reflected achievements of Physics in approximately fifty-sixty years since the mid-20th century. First tutorial consists of ten chapters. The second book consists of five chapters. In the third book, consisting of three parts outlining physical basics of nanotechnology. Tutorials are written based on material selected from various sources (articles, monographs). Preferential sources used by the authors of the articles published in the journal «The success physical sciences.» The total amount of the three books is about eighty printed sheets. Presentation of the structure of sets of textbooks on the third presentation of the motive which led the authors to prepare. It is noted in this connection that the rapid growth of scientific information and the increasingly intensifying the integration of various sections pose methodological problems that need to be addressed in the process of publication of educational literature. It is also noted that since the mid-twentieth time and present a number of new sections, including physics, nonlinear optics, physics of open systems, quantum information, topics related to the study of the structure and dynamics of molecules. There are quite extensive scientific literature on new sections of Physics in the form of original articles and reviews published in specialized periodicals. However, it is designed mainly for specialists. With regard to educational literature, it is virtually non-existent.

Keywords: modern physics, condensed state, plasma state, nanomaterials

Принципиальным моментом современного развития науки является все возрастающий объем знаний. Зародившись в древнем мире в связи с потребностями общественной практики, наука превратилась в производительную силу и важнейший социальный институт, оказывающий значительное влияние на все сферы общества и культуру в целом. Объем научной деятельности начиная с семнадцатого века удваивается примерно каждые десять – пятнадцать лет (рост открытий, научной информации, числа научных работников). Следствием стремительного роста объема информации является все более увеличивающийся разрыв между достигнутым наукой уровнем знаний и тем, что преподается в вузе. В одном из своих выступлений профессор Капица С.П. высказал мысль, что каждое поколение должно написать свой учебник по физике. Возникают вопросы: «Пришло ли время для написания такого учебника и если да, то готово ли нынешнее поколение (конца двадцатого – начала двадцать первого века) сделать это? И самое главное – каким должно быть содержание такого учебного издания?»

Говоря об истории развития физики, известный американский физик-популяризатор науки Джей Орир, до некоторой степени произвольно, выделил три периода – классический, новый и современный [5]. К концу XIX века были подробно изучены такие разделы физики, как механика, термодина-

мика, электромагнетизм, оптика и гидродинамика. Разработка теории этих разделов казалась в основных чертах завершенной, так что в дальнейшем вряд ли можно было ожидать каких-либо новых важных открытий. Совокупность этих разделов принято было называть классической физикой.

В самом конце девятнадцатого века и на протяжении первых трех десятилетий двадцатого века в физике был сделан ряд удивительных открытий. Было обнаружено явление радиоактивности, которое в дальнейшем стало использоваться для исследования строения атома. Создание теории относительности заставило пересмотреть прежние взгляды на пространство и время. Попытки описать строение атома привели к созданию квантовой теории. Этот период, на протяжении которого изменился весь характер физических исследований, стали называть периодом новой физики.

В тридцатых годах двадцатого века впервые наблюдалось радиоизлучение звезд, были открыты нейтрон и деление атомных ядер. Эти и другие открытия привели к накоплению огромного количества результатов в новых областях физики, и это продолжает происходить и в настоящее время. Подобное развитие физических исследований, следствием которых явились дальнейшие открытия и возникновение новых идей, привело к созданию современной физики.

Отличительной чертой современного естествознания, наряду с ростом объема информации является все более усиливающаяся интеграция научных исследований. Такая тенденция делает все более условным деление естествознания на строго конкретные разделы. Хотя главенствующая роль физики, изучающей простейшие и вместе с тем наиболее общие свойства материального мира, остается, равно как остается и специфика предмета исследований других разделов естествознания. Указанные две особенности (стремительный рост научной информации и все более усиливающая интеграция различных разделов естествознания) ставят проблемы методологического характера, которые необходимо решать в процессе издания учебной литературы. Актуальность проблемы еще усиливается и тем фактом, что очень часто делается акцент на то, как учить. Хотя проблема состоит в другом: «Чему учить?»

Выше изложенное стало побудительной основой для того, чтобы взяться за подготовку учебных изданий, в которых нашли бы отражение достижения физики примерно за пятьдесят – шестьдесят лет, начиная с середины двадцатого века. Указанный период характеризуется появлением целого ряда новых разделов знаний, в частности, нелинейной оптики, физики открытых систем, квантовой информации, разделов, связанных с изучением строения и динамики молекул. Имеется достаточно обширная научная литература по новым разделам физики в виде оригинальных статей и обзоров, публикуемых в специализированных периодических изданиях. Однако она рассчитана, главным образом, на специалистов. Что касается учебной литературы, то она практически отсутствует.

Основу упомянутых выше книг составляют три учебника [1–3], рекомендованные к изданию научно-методическим советом по физике Министерства образования и науки Российской Федерации. Они написаны на основании материала, отобранного из различных источников (обзорные статьи, монографии). Преимущественные источники, которыми пользовались авторы – статьи, опубликованные в журнале «Успехах физических наук». Список литературы приводится в конце каждой главы. В целом ряде случаев в него включаются источники, из которых материал не брался вовсе или, если это делалось, то в небольшом объеме. Но они могут быть полезными для углубленного изучения материала, что и побудило авторов таким образом расширить список литературы. Следовательно, читатель обсуждаемых здесь изданий получает возможность использовать обширный список публикаций по различным разделам современной физики.

Содержание курса «Современная физика»

Первый учебник состоит из десяти глав. Первая глава отведена изложению основополагающих сведений о новых нелинейных оптических эффектах, возникновение которых зависит от интенсивности света. Имеются две причины, обусловливающие различие результатов взаимодействия с веществом света малой и большой интенсивности. Во-первых, при большой интенсивности главную роль играют многофотонные процессы, когда в элементарном акте поглощается несколько фотонов. Во-вторых, при больших интенсивностях возникают эффекты самовоздействия, заключающиеся в изменении исходных свойств вещества под действием распространяющегося в нем света. Во второй главе рассмотрены основные понятия нового междисциплинарного научного направления – физики открытых систем, возникновение которого было подготовлено трудами выдающихся исследователей девятнадцатого века. Среди них физик Людвиг Больцман, математики Анри

Пуанкаре и Александр Ляпунов, биолог Чарльз Дарвин. Третья глава учебного пособия отведена физике твердых тел, изучение которых занимает особое место, потому что именно на этом пути мы, прежде всего, получаем сведения о строении материи живой и неживой природы, о материалах, используемых в технике. В четвертой главе книги излагается материал, отражающий тот раздел физики, благодаря которому сегодня открываются новые возможности широкого и многомасштабного применения полупроводников в самых разнообразных отраслях науки и техники. В пятой главе дается описание ряда новых объектов атомной физики, привлекающих все возрастающее внимание исследователей разнообразием физических свойств и явлений, присущих этим объектам. Это, прежде всего, свойства возбужденных атомов и молекул в газообразном состоянии (в частности, эксимерные молекулы, многозарядные ионы и ридберговские атомы), а также процессы, протекающие при их участии.

Шестая глава отведена изложению основополагающих теоретических и экспериментальных основ нового научного направления, возникшего на стыке нескольких дисциплин. Имеется в виду та область знаний, которая занимается строением и динамикой молекул. В широком смысле речь идет об исследовании материи на молекулярном уровне. Конечная цель такого исследования – электронное и пространственное строение многоэлектронных (молекулярных) систем, а также природа процессов и явлений, происходящих с их участием. В седьмой главе речь идет о квантовой информации – новом направлении физики, возникшем благодаря развитию тех идей квантовой механики, которые до сравнительно недавнего времени оставались фактически невостребованными. В ряде публикаций отмечается, что квантовая информация находится в начале пути своего развития. Вместе с тем оно идет столь стремительно, а результаты, достигнутые к настоящему времени, столь впечатляющие, что есть основания отражать их и в учебной литературе. В восьмой главе дается изложение современных представлений о природе фундаментальных сил. Материал девятой главы учебного пособия знакомит читателя с впечатляющими успехами о строении и динамики ядерной материи, достигнутыми во второй половине двадцатого года. Акценты в указанный период сместились в сторону изучения ядерно-ядерных взаимодействий (прежде всего, высокоэнергетических ядерных объектов). В результате был накоплен огромный материал, глубокий теоретический анализ которого позволил достичь впечатляющих успехов в отношении понимания строения и динамики ядерной материи. В десятой главе обсуждаются некоторые принципиальные вопросы, относящиеся к проблеме возникновения жизни и мышления, ответы на которые исследователи стремятся найти, опираясь на достижения современной физики. Вопросы о возникновении жизни и мышления выходят за рамки биологии и представляют общенаучный интерес. В последнее время они привлекают внимание физиков, особенно занимающихся нелинейными задачами и проблемами самоорганизацией.

Вторая книга из трех выше указанных включает пять глав. Первые две из них отведены описанию соответственно нелинейно-оптических и электрических явлений в материалах, для которых является характерным конденсированное состояние вещества. Обсуждаются оптические свойства пленок полупроводников, среды с отрицательным коэффициентом преломления, лазеры на свободных электронах. Обсуждается также высокотемпературная сверхпроводимость, физические основы спинтроники и акустоэлектроники, электроны в криволинейных наноструктурах, коллективные явления в полупроводниках с участием экситонов. В третьей главе излагаются особенности физических свойств новых магнитных материалов, появление которых в немалой степени определяет прогресс в науке и технике, свидетелями которого мы являемся. Здесь рассмотрены, в частности, физические свойства манганитов, ферромагнетики с памятью формы. В четвертой главе отражены результаты новой области знаний, связанной с пространственной организацией в конденсированных средах. Зародившись в середине двадцатого века благодаря, прежде всего, работам в области физики открытых систем и идеи самоорганизации, данная область знаний уже играет важную роль в технологическом прогрессе общества. В четвертой главе описывается структурообразование в нелинейных динамических системах, кластеры и кластерные пучки, жидкокристаллическое состояние вещества, дефектно-примесная и изотопическая инженерия, формирование трехмерных наноструктур на поверхности полупроводников. Наконец, в пятой главе данной книги дается описание основных характеристик ряда новых аналитических методов. Среди широкого комплекса современных методов исследования состояния вещества особое место занимают методы, основанные на использовании знаний, полученных в процессе изучения материи на уровне ми-

кро- и нанообъектов. Исключительная информативность этих методов делает их главенствующими в широком аспекте научных исследований. В последние примерно пятнадцать – двадцать лет эти методы активно внедряются в различные отрасли промышленности, в том числе в качестве неразрушающих методов контроля, в медицинскую практику, а также для экологического контроля окружающей среды.

В третьей книге излагаются физические основы нанотехнологий. Книга состоит из трех частей. Первая часть посвящена рассмотрению физических явлений и описывающих их законов и положений, относящихся к плазменному состоянию вещества. Специфика настоящего времени состоит в том, что нанотехнологии требуют знаний о плазменном состоянии вещества, полученных, главным образом, в последние примерно двадцать пять – тридцать лет. Особенно важными являются те разделы, которые отражают результаты исследований кластерных образований в плазме. В этом плане рассматриваются условия существования кластерной плазмы, зарядка кластеров и малых частиц в плазме, динамика процессов в кластерной плазме, методы генерации кластеров. Рассматривается также магнетронная плазма, применения кластеров, фемтосекундное возбуждение кластерных пучков. Отдельные главы отведены изложению особенностей физических процессов в неидеальной плазме, а также в пылевой и лазерной плазме.

Еще одна область физики, имеющая принципиальное значение для создания нанотехнологий, связана с конденсированным состоянием вещества в наномасштабных областях пространства. Имеются в виду наноструктуры как таковые, а также входящие в состав макрообразцов, прежде всего у поверхности твердых тел. Основополагающие идеи, относящиеся к физике микро- и наномира материальных тел, находящихся в твердом и жидком состояниях, нашли во второй части учебника. В связи с этой тематикой рассматриваются оптические свойства наноматериалов, физические свойства углеродных нанотрубок и материалов на их основе, эффекты размерного квантования в наноструктурах, жидкие кристаллы, электропроводящие полимеры. Отдельная глава отведена трекообразованию и дефектообразованию в конденсированных средах.

Помимо двух выше названных частей в учебник включен материал, относящийся к теоретическим и экспериментальным методам исследования многоэлектронных систем. При этом в учебнике уделено внимание теоретическим методам, которые позволяют достаточно адекватно описывать прежде всего многочастичные аспекты коллективных электронных явлений. Дано феноменологическое объяснение специфических свойств метаматериалов. Проведено обсуждение низкоразмерных эффектов в наноструктурах, феноменелогические теории в многочастичных задачах на примере изложения упругих свойств квазикристаллов, кластерных и фазовых переходов. Заключительная глава третьей части отведена изложению физических основ новых спектральных методов исследования вещества

Материал комплекта «Современная физика» может быть использован при чтении спецкурсов «Физика конденсированного состояния», «Новые аналитические методы исследования вещества», «Физические свойства наноматериалов», других курсов, относящихся в частности, к разделу «Дисциплины совета вуза» [4].

Заключение

Трехтомник «Современная физика» предназначен, прежде всего, для студентов старших курсов высших учебных заведений, обучающихся по техническим и естественно-научным специальностям. Он будет также полезен преподавателям, особенно молодым, и всем, кто увлекается физикой и интересуется ее современным состоянием. Первая из выше названных книг переведена на английский и испанский языки. Готовится к изданию на английском языке третья книга.

Список литературы

1. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика. – М.: Изд-во «КомКнига», 2005. – 512 с.

2. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика: Конденсированное состояние. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 336 с.

3. Воронов В.К., Подоплелов А.В., Сагдеев Р.З. Физические основы нанотехнологий. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 432 с.

4. Воронов В.К., Ким Д., Янюшкин А.С., Геращенко Л.А. Свойства и применение наноматериалов. – Старый Оскол: Издательство ТНТ, 2012. – 220 с.

5. Орир Дж. Физика: Пер. с анг. – М.: Мир, 1981. – т.1, 336 с; т.2, 288 с.

УДК 004.93

ОБНАРУЖЕНИЕ ЧАСТИЧНО РАЗМЫТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Гуркина Е.Д., Белов Ю.С.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: besus@yandex.ru

В данной статье была предложена структура классификации и анализа частично размытых изображений для автоматического обнаружения изображений, содержащих размытые области, и распознавание типов размытия для этих областей без необходимости выполнять оценку ядра размытия и коррекцию размытого изображения. Были предложены несколько функций размытия, смоделированных как по цвету изображения, так и по градиенту и спектральной информации. Обнаружение размытия основано на особенностях изображений, что делает распознавание и анализ размытых областей и их классификацию более эффективной. Обширные эксперименты показывают, что метод удовлетворительно работает над сложными данными, что составляет техническую основу для решения ряда проблем компьютерного зрения, таких как анализ движения и восстановление изображений, используя информацию о размытии.

Ключевые слова: обработка изображения, коррекция изображения, стабилизация изображения, движение объекта, размытые изображения, оценка движения, частично размытые изображения, обнаружение размытия

IMAGE PARTIAL BLUR DETECTION AND CLASSIFICATION

Gurkina E.D., Belov Y.S.

Kaluga branch of Moscow state technical University named after Bauman (national research University), Kaluga, e-mail: besus@yandex.ru

In this paper, we propose a partially-blurred-image classification and analysis framework for automatically detecting images containing blurred regions and recognizing the blur types for those regions without needing to perform blur kernel estimation and image deblurring. We develop several blur features modeled by image color, gradient, and spectrum information, and use feature parameter training to robustly classify blurred images. Our blur detection is based on image patches, making region-wise training and classification in one image efficient. Extensive experiments show that our method works satisfactorily on challenging image data, which establishes a technical foundation for solving several computer vision problems, such as motion analysis and image restoration, using the blur information.

Keywords: image processing, image correction, image stabilization, object motion, blurred images, motion estimation, partially blurred images, blur detection

В прикладных областях, связанных с цифровой обработкой изображений, актуальна задача распознавания образов и определения их положения, ориентации и масштаба относительно заданной системы координат [2]. Признак изображения – это его простейшая характеристика или свойство. Некоторые признаки являются естественными в том смысле, что они устанавливаются визуальным анализом изображения, тогда как другие, так называемые искусственные признаки, получаются в результате его специальной обработки и измерений. Естественные признаки: светлота (яркость), текстура различных областей изображения и форма контуров объектов [3]. К этим признакам также можно отнести и четкость изображения. В процессе оптического распознавания текста часто возникают проблемы, связанные с зашумленным или недостаточно четким изображением [1]. В этой статье рассматривается обнаружение и анализ частично размытых изображений, а также новый метод обнаружения размытых изображений, извлечения возможных размытых областей и дальнейшей классификации их на две категории, а именно: размытие областей вне фокуса и размытие при движении. Метод пытается решить две серьезные проблемы. Одной из них является размытие с одновременным извлечением размытых областей. Вторая цель метода состоит в том, чтобы автоматически классифицировать обнаруженные области размытия на два типа: размытие вне фокуса и размытие при движении. Предполагается классификация размытия изображения на два класса, потому что они наиболее часто изучаются при восстановлении изображений. На рисунке показаны два примера частичного размытия.

Хотя темы анализа размытости изображения привлекли большое внимание в последние годы, в большинстве работ основное внимание уделяется решению проблемы затухания. Обнаружение общего размытия, напротив, редко изучается и по-прежнему далеко от практического применения. В [6] предложен метод для классификации размытых и неразмытых областей на одном исходном изображении. Этот метод основан на наблюдении того, что размытые области более инвариантны к низкочастотному рас-

сеянию. Предполагается, что использование этой информации не является достаточным условием для распределения по классам. Для достижения качественного обнаружения размытия необходимо объединить различные меры размытия. Предложенный метод также не различает и типов размытия.

трудно определить порог для классификации из-за изменения структуры естественного изображения. Таким образом, следует учитывать относительную информацию между пятном размытия и изображением, что предполагает, что данный анализ функций будет более надежным в отношении

(a) (b)

Примеры частично размытых изображений:
a – размытие при движении объекта; b – размытия областей вне фокуса

Используя статистику градиентной информации в разных направлениях, метод [8] строит энергетическую функцию, основанную на выведенном ядре размытия, чтобы сегментировать изображение по слоям (размытые / неравномерные слои). Этот метод обнаруживает только размытые области движения путем выведения ядер направленного размытия. Другие методы оценки размытия, такие как предложенные в [8], обнаруживают только меру размытия, которая не может быть непосредственно использована для классификации размытия.

В этой статье предлагается подход к обнаружению и анализу размытия для автоматического извлечения размытых областей путем комбинирования специфически размытых признаков, представленных спектральной, градиентной и цветовой информацией, соответственно. Затем полученная информация о направлении локальной автокорреляционной функции, которая оценивает, насколько хорошо локальное окно в области размытия совпадает с пространственно сдвинутой версией самого себя, может использоваться для классификации по типам размытия. В предложенной классификации размытия не происходит слепой деконволюции, которая может включать сложную оценку ядра.

Этот процесс основан на ключевом моменте: если предполагается непосредственно использовать информацию о цвете изображения для каждой локальной области, разнообразия цветовой структуры в естественных изображениях.

Предыдущие подходы по обнаружению и оценке размытия направлены на измерение размытости краев и основаны на анализе резкости края [10]. Подход [5] расширяет эту идею с учетом величины градиента по краю до нормального распределения. Тогда стандартное отклонение этого распределения вместе с градиентной величиной рассматривается как мера размытия. В некоторых подходах моделировалось фокальное размытие ядром гауссова размытия и вычислялся отклик с использованием управляемых гауссовых базисов первого и второго порядков. Поэтому фокусное размытие оценивается по толщине контуров объекта. Чжан и Бергхольм [9] определили гауссовскую разностную подпись, которая функционирует аналогично производной гауссовского порядка первого порядка, чтобы измерить размытость, представляемую объектами вне фокуса. Следует обратить внимание, что все эти методы предполагают, что функция разброса точек (ФРТ) моделируется гауссовским размытием. Они не могут применяться для обнаружения негауссовского размытия. Деконволюция слепого изображения [8] направлена на оценку размытости и скрытых неровных изображений. Большинство предложенных методов направлено только на пространственно-инвариантное размытие, то есть все пиксели входного изображения размыты

по одной и той же ФРТ. Были предложены и некоторые методы [4, 11, 13] для решения проблемы частичного размытия с помощью пользовательского взаимодействия или предположений о размытии ядра.

Для всех этих методов, если ФРТ можно правильно восстановить, тип размытия также становится известен посредством использования структуры ФРТ. Однако на практике слепая деконволюция обычно выполняется неудовлетворительно даже путем принятия предположений по ограничению структуры изображения и ядра. Такие методы не справляются с частично размытыми изображениями. Кроме того, визуально правдоподобный результат деконволюции не означает, что ФРТ правильно оценивается. Эти факторы делают слепую деконволюцию не лучшим выбором для общего обнаружения размытия с точки зрения эффективности и точности, особенно для обработки изображений в большой базе данных.

Другим типом анализа размытия является автоматическая сегментация изображения с низкой глубиной резкости (DoF). Low DoF – это метод фотографии, который абстрагирует намерение фотографа, уделяя четкое внимание только объекту интереса (OOI). Предыдущие методы автоматического извлечения OOI не подходят для обнаружения размытия, потому что они работают только на входных изображениях Low DoF, содержащих фокус вне фокуса. В [7] изображения Low DoF обнаруживаются путем вычисления низкого индикатора DoF, определяемого отношением коэффициентов вейвлет-сигнала в высокочастотных центральных областях всего изображения. Этот метод просто предполагает, что изображения Low DoF содержат сфокусированный объект вблизи центра, а окружающие пиксели находятся вне фокуса. Этот метод также не подходит для обнаружения общего размытия.

Изображения в данной статье предложено классифицировать на два типа размытия. Обнаружение размытого изображения и типа размытия осуществляется в два этапа. Сначала выполняется обнаружение размытых изображений. На этом этапе предлагается использовать комбинацию из трех функций, а именно: «Сила локального спектрального наклона (градиента)», «Градиентная гистограмма» и «Максимальная насыщенность», чтобы моделировать характеристики размытия по-разному. Области размытости с направленным движением отличаются от размытых областей вне фокуса, что можно обнаружить при использовании другой функции – локальной автокорреляции. Обнаружить размытие без реальной оценки размытых ядер достаточно непросто.

Итак, метод обнаружения частично размытых изображений должен учитывать ряд особенностей размытия, рассмотрим их подробнее:

Локальный разрез спектра мощности. Из-за низкочастотной характеристики размытой области некоторые высокочастотные компоненты теряются. Таким образом, наклон амплитудного спектра размытой области имеет тенденцию быть более крутым, чем у неровной области.

Градиентная гистограмма. Распределение градиентной величины служит важным визуальным ключом при обнаружении размытия. Размытые области редко содержат острые края, что приводит к небольшой градиентной величине. Соответственно, распределение величины логарифма градиента для размытых областей должно иметь меньшее значение, чем для других областей изображения.

Максимальная насыщенность. Неровные области, вероятно, будут иметь более яркие цвета, чем области размытые. Соответственно, ожидается, что максимальное значение насыщенности в размытых областях будет меньше, чем в неразмытых областях.

Локальная автокорреляция. Если область размыта относительным движением между объектом и фоном в определенном направлении, все ребра объекта будут размыты, за исключением тех, которые разделены в одном направлении с движением. Это рассматривается как еще один важный визуальный аспект в предложенном анализе размытия.

При обработке частичного размытия, предполагаемый подход использует извлечение признаков по областям. В частности, необходимо разбить входное изображение на части и анализировать особенности в каждой из них.

На втором этапе обнаруженные области размытия измеряются с помощью локальной автокорреляционной конгруэнтности, чтобы распознать типы размытия. Учитывая список возможностей для распознавания резких и размытых областей, можно применить байесовский классификатор.

$$\eta_a = \frac{P(Blur \mid q_1, q_2, q_3)}{P(Sharp \mid q_1, q_2, q_3)} = \frac{P(q_1, q_2, q_3 \mid Blur)P(Blur)}{P(q_1, q_2, q_3 \mid Sharp)P(Sharp)}, \quad (1)$$

где $P(Sharp|q_1; q_2; q_3)$, по правилу Байеса, означает вероятность маркировки области как размытой. Предполагая независимость функций, упрощаем (1) и получаем:

$$\eta_a = \frac{P(q_1|Blur)\ldots P(q_3|Blur)}{P(q_1|Sharp)\ldots P(q_3|Sharp)}. \quad (2)$$

Затем, каждая условная вероятность выше обучается с использованием набора обучающих образов. Учитывая локальную автокорреляцию, условные вероятности $P(q_4|focal\ blur)$ и $P(q_4|motion\ blur)$ обучаются, а классификация размытия достигается путем вычисления:

$$\eta_b = \frac{P(q_4 \mid focal\,blur)}{P(q_4 \mid motion\,blur)}. \quad (3)$$

В этой статье была предложена структура обнаружения и анализа изображений с частичным размытием и последующей их классификацией: содержит ли одно изображение размытые области и какие типы размытия присутствуют на изображении. Предложенный метод мог бы стать основой для решения многих проблем, связанных с размытым контуром и областями, таких как поиск изображений на основе контента, улучшение изображения, сегментация изображения высокого уровня и извлечение объектов.

Список литературы

1. Гришанов К.М., Белов Ю.С., Морфологические операции для уменьшения шума на изображении // Наука, техника и образование – 2016. – №2 – С. 90–95. [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26847525 (дата обращения 17.05.2017).

2. Нестеров А.Ю., Бурмистров А.В., Белов Ю.С. Метод определения положения объекта в задачах распознавания образов // Электронный журнал: наука, техника и образование – №2, 2016. – С. 82–89. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26847524 (дата обращения 16.05.2017).

3. Сакович И.О., Белов Ю.С. Обзор основных методов контурного анализа для выделения контуров движущихся объектов // Инженерный журнал: наука и инновации – № 12,2014. [Электронный ресурс]. URL: http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1280.html (дата обращения 20.05.2017).

4. Bar L., Berkels B., Rumpf M., Sapiro G. A variational framework for simultaneous motion estimation and restoration of motion-blurred video. In ICCV, 2007.

5. Battiato S., Blanc-Talon J., Gallo G., Philips W., Popescu D., Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems: 16th International Conference, ACIVS 2015, Catania, Italy, October 26–29, 2015. Scheunders Springer, 2015 p 6.

6. Boon T.K., Haidi I., First International Conference on Artificial Intelligence, Modelling & Simulation, “A Literature Survey on Blur Detection Algorithms for Digital Imaging”, 2013, p 237, Available at: http://ijssst.info/Vol-15/No-2/data/3251a237.pdf (accessed 22 April 2017).

7. Datta R., Joshi D., Li J., and Wang J. Z. Studying aesthetics in photographic images using a computational approach. In ECCV (3), 2006, pp 288–301.

8. Fergus R, Singh B, Hertzmann A, Roweis S. T., Freeman W. T. Removing camera shake from a single photograph. ACM Trans. Graph., 25(3), 2006, pp 787–794.

9. Hansen B., Hess. R. Discrimination of amplitude spectrum slope in the fovea and parafovea and the local amplitude distributions of natural scene imagery. Journal of Vision, 6(7), 2012, pp 696–711.

10. Keimel C, Design of Video Quality Metrics with Multi-Way Data Analysis: A data driven approach. Springer, 2015 p 158, Available at: https://books.google.co.uk/books?id=JbtPCwAAQBAJ&pg=PA226&lpg=PA226&dq=A+noreference+perceptual+blur+metric.+In+ICIP+(3)&source=bl&ots=yTjIxtpg8l&sig=Ou4yp9mnYgg_oZ2uCZxn7xYaOYA&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwjck5GhutHUAhVsK8AKHZ_DCTIQ6AEIPDAE#v=onepage&q=205&f=false(accessed 12 May 2017).

11. Levin A.. Blind motion deblurring using image statistics. In NIPS, 2011, pp 841–848.

12. Shan Q, Xiong W., Jia J.. Rotational Motion Deblurring of a Rigid Object from a Single Image. In ICCV, 2007.

УДК 623.9

УГЛОВОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ТРЕХКОМПАНЕНТНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МАГНИТОМЕТРОВ

Иванов Ю.М., Семенов В.Г., Осипенко К.В.

АО «МЕРА», Санкт-Петербург, e-mail: mail@mera.spb.ru

Стационарные подводные измерительные стенды, а также переносные системы магнитного поиска используют множество трехкомпонентных датчиков для измерения магнитного поля того или другого объекта на фоне магнитного поля Земли. Датчики должны измерять в одной и той же системе координат, называемой опорной. Между тем система координат каждого датчика отличается от опорной системы координат, что создает значительную погрешность измерения конечного результата. Многие годы эта погрешность считалась трудноустранимой. В 2002 году был разработан универсальный метод корректирующих матриц для значительного повышения точности измерения каждым датчиком. Метод корректирующих матриц не решил проблемы углового согласования датчиков, но подготовил почву для него. Недавно в дополнение к методу корректирующих матриц были разработаны два метода углового согласования трехкомпонентных датчиков. Один из них предназначен для бездемонтажной калибровки стационарных морских стендов, другой – для переносных систем магнитного поиска. Эти методы позволяют снизить погрешности от углового рассогласования в десятки раз.

Ключевые слова: угловое согласование, дифференциальный магнитометр, погрешность измерения

ANGULAR COORDINATION FOR TREE-AXIL DIFFERENTIAL MAGNETOMETERS

Ivanov Y.M., Semenov V.G., Osipenko K.V.

AO «MERA», St. Petersburg, e-mail: mail@mera.spb.ru

Fixed underwater measurement ranges as well as portable magnetic search systems use multitudes of three-axial magnetic sensors to measure a specific magnetic field against the field of the Earth. These sensors are to measure under the same coordinate system called reference system. Meanwhile the sensor's coordinate systems differ from one another. The difference produces a considerable error in the final measurement result. For many years this sort of error was considered difficult in reducing. In 2002 a correction matrix method was developed to improve significantly each sensor's accuracy. This method did not solve the problem of the angular mismatch between the sensors, but it has paved the way for the matching. Recently two new methods have been added to the correction matrix for the angular coordination of three-axial magnetic sensors. One of them is intended for calibration without disassembly of magnetometers at the fixed underwater measurement ranges. The other one is meant for the portable magnetic search systems. These methods allow reducing tens of times the errors from the angular mismatch.

Keywords: angular coordination, differential magnetometer, measurement error

В специальной магнитометрии, в отличие от обычной магнитометрии, применяются группы трехкомпонентных магнитометров, включенных по дифференциальной (разностной) схеме относительно опорного (компенсационного) магнитометра. Например, в проходных магнитоизмерительных стендах для измерения магнитных полей (МП) кораблей [1] (рис. 1) или в переносных системах магнитного поиска скрытых ферромагнитных объектов [2] (рис. 2). В таких стендах и системах показания всех магнитометров должны приводиться к единой системе координат (СК), например к СК опорного магнитометра.

Среди специалистов проблема углового согласования (УС) относительно опорной СК традиционно считалась трудноразрешимой, что неоднократно подчеркивалось в соответствующих публикациях, в частности:

– наименьшая погрешность установки датчиков на стенде водолазом по компасу составляет ±5°, тогда как требуемое УС датчика с опорной СК должно быть не хуже 35 угловых минут [1][1];

– стоимость геодезических и подводных работ по ориентации каждого трехкомпонентного датчика при установке на его штатном месте, составляет значительную часть стоимости затрат за весь срок службы магнитоизмерительного стенда 2-го поколения [3].

Отсюда следует, что угловая несогласованность датчиков является сильным источником систематической погрешности дифференциальных магнитометров.

Отметим, что для обычных трехкомпонентных магнитометров разработан универсальный метод резкого повышения точности за счет применения так называемых корректирующих матриц [4]. Но эффективное применение метода [4] к дифференци-

[1]В магнитном поиске [2] требования к УС еще жестче.

альным магнитометрам невозможно без соответствующего УС.

Далее в разделе 3 предлагается и рассматривается ряд перспективных методов УС.

Уравнение измерения разности магнитных индукций

В работе [4] результат измерения трехкомпонентным магнитометром представлен как искажение действительного значение вектора МИ некоторой 3x3 матрицей, называемой искажающей

$$B_{ui} - O_i = u_i \cdot B_i = u_i \cdot s_{i0} B_0, \qquad (1)$$

где $(B_{ui} - O_i)$ – вектор-столбец результата измерения i-магнитометра, исправленный на его уходы нулей O_i; u_i – искажающая матрица i-магнитометра в его собственной ортогональной СК (СОСК$_i$); B_i – вектор-столбец действительного значения МИ в точке i в СОСК$_i$. s_{i0} – матрица ортогонального преобразования координат из некоторой опорной ортогональной ОСК$_0$ в СОСК$_i$; B_0 – вектор-столбец действительного значения МИ в точке i в ОСК$_0$.

Само понятие СОСК трехкомпонентного магнитометра введено ранее в работе [5]. СОСК жестко связана с магниточувствительными осями в общем случае неортогонального магнитометра и может быть определена для любого магнитометра, если известны неортогональности его осей.

Наиболее удобный, точный и помехоустойчивый метод определения неортогональностей, по которым строится искажающая матрица, разработан также в [4].

Если заранее определить искажающую матрицу i-магнитометра u_i, а также матрицу s_{i0}, то последующие результаты измерения (1) можно просто и быстро корректировать либо в СОСК$_i$ либо в ОСК$_0$

$$u_i^{-1}(B_{ui} - O_i) = B_i;$$

$$s_{0i} u_i^{-1}(B_{ui} - O_i) = B_0, \qquad (2)$$

где u_i^{-1} – обратная искажающей или корректирующая матрица; s_{i0} – транспонированная матрица УС.

С помощью (1) и (2) можно наглядно показать, как коррекция влияет на размер мульпликативных систематических погрешностей трехкомпонентного магнитометра

$$\Delta B_{б/к} = \left(u_i s_{i0} - I\right) B_0;$$

$$\Delta B_{с/к} = \left(k u_i s_{i0} - I\right) B_0, \qquad (3)$$

где $\Delta B_{б/к}$, $\Delta B_{с/к}$ – вектор-столбцы погрешностей магнитометра соответственно без коррекции и с коррекцией; $k \approx s_{0i} u_i^{-1}$ – результат (неточно) определенных ортогональной матрицы s_{i0} и искажающей u_i.

Из (3) видно, чем точнее определены матрицы u_i, и s_{i0}, тем ближе произведения k_i u_i s_{i0} к единичной матрице I и тем меньше систематические погрешности магнитометра.

Как уже отмечалось выше, особенность магнитоизмерительных стендов, а также систем магнитного поиска [2] состоит в том, что там измеряют разности МИ между каждым измерительным и опорным (компенсационным) магнитометром, чтобы исключить влияние МП Земли (МПЗ), а также вариаций МПЗ, на результаты измерений МП объекта.

Учитывая эту специфику в соотношениях (2), составим типовое скорректированное уравнение измерения разности МИ объекта между измерительным i и компенсационным 0 трехкомпонентными датчиками.

$$B_{i0}^{об} = \underbrace{s_{0i} \underbrace{u_i^{-1}\left(B^{об} + B^{МПЗ} - O\right)_{ui}}_{B_i} - \underbrace{u_0^{-1}\left(B^{об} + B^{МПЗ} - O\right)_{u0}}_{B_0}}_{B_i^{(0)}}, \qquad (4)$$

где $B_{i0}^{об}$ – исправленная разность МИ объекта между точками i,0 в СОСК$_0$; $(\ldots)_{ui}$, $(\ldots)_{u0}$ – результаты измерения соответствующим i-магнитометром и 0–магнитометром; B_{ui}^{o}, B_{u0}^{o} – соответствующие части результатов измерения МП объекта в точках и 0; $B_{ui}^{МПЗ}$, $B_{u0}^{МПЗ}$ – соответствующие части результатов измерения МПЗ в точках и 0; B_i, B_0 – скорректированные результаты соответственно в СОСК$_i$ и СОСК$_0$; $B_i^{(0)}$ – скорректированный результат точки i в СОСК$_0$.

В уравнении (4) коррекцию выполняют корректирующие матрицы магнитометров и ортогональная матрица s_{i0}, которая осуществляет согласование СОСК$_i$ и СОСК$_0$.

Корректирующие матрицы и уходы нулей определяются до установки магнитометров на штатных местах [4]. Разумеется, матрицу s_{i0} следует определять после установки.

Методы определения матрицы УС

Предположим, что определение ортогональной матрицы s_{i0} осуществляется в однородном МПЗ при отсутствии объекта (рис. 1). Как следует из (4), при удаленном объекте и синхронном измерении МПЗ в точках i и 0

$$B_{i0}^{\text{об}} = B_i^{(0)} - B_0 = s_{0i}B_i - B_0 = 0,$$

то есть

$$s_{0i}B_i = B_0 \text{ или } s_{0i}B_0 = B_i, \quad (5)$$

где вектор-столбцы B_i, B_0 известны в результате измерений и последующих коррекций; $s_{0i} = s'_{0i} = s_{i0}^{-1}$, поскольку для ортогональной матрицы её транспонированная совпадает с обратной. Ниже используется правая часть соотношения (5). Каждому измерительному датчику i соответствует своя матрица УС s_{i0}.

Метод определения аргументов матрицы УС

Искомую матрицу s_{i0} можно выразить произведением элементарных матриц поворота. Например, поворотом на угол x_1 вокруг орта 1, затем на угол x_2 вокруг орта 2, затем на угол x_3 вокруг орта 3 [6]

$$s_{i0} = \begin{pmatrix} c_3 & -s_3 & 0 \\ s_3 & c_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_2 & 0 & s_2 \\ 0 & 1 & 1 \\ -s_2 & 0 & c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_1 & -s_1 \\ 0 & s_1 & c_1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} c_2c_3 & -c_1s_3 + c_3s_1s_2 & c_1c_3s_2 + s_1s_3 \\ c_2s_3 & c_1s_3 + s_1s_2s_3 & -c_3s_1 + c_1s_2s_3 \\ -s_2 & c_2s_1 & c_1c_2 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где $c_i = \cos x_i$, $s_i = \sin x_i$.

То есть, (5) представляет собой систему трех нелинейных уравнений относительно трех неизвестных x_1, x_2, x_3. Для решения нелинейных систем в пакете Матлаб разработана программа “fsolve”. Но для системы (5)+(6) программа неизменно выдавала физически неприемлемые значения углов ($x_a > 5^0$, $5^0 = 0.087$).

В этой связи опробован упрощенный аналог (6), учитывающий близость c_i к единице и s_i к нулю

$$\widehat{s}_{i0} = \begin{pmatrix} k_1 & -s_3 + s_1s_2 & s_2 \\ s_3 & k_2 & -s_1 + s_2s_3 \\ -s_2 & s_1 & k_3 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $k_i = 1 - \left(x_j^2 - x_k^2\right)/2$.

Кроме того, результаты решения систем зависели от выбора начальных данных x_0. Поэтому целесообразно контролировать решения оценкой погрешности УС в виде

$$\delta = norm\left(s_{i0}\left(x\right)B_i - B_0\right)/norm\left(B_0\right). \quad (8)$$

$x = (x_1\ x_2\ x_3)$ – результаты решения системы уравнений (5)+(7).

В качестве иллюстрации покажем весь процесс решения (5)-(8) на конкретном примере УС при:

$$B_0 = (0.2097\ 0.0203\ 0.4945)\cdot 10^{-4},\ B_i = (0.22\ 0.02\ 0.49)\cdot 10^{-4};$$

$$x_1 = 0.01,\ x_2 = -0.02,\ x_3 = 0.025.$$

Таблица 1

Решение систем (5)+(5) и (5)+(7)

Уравнение (8)+(9)				
x0	0/0/0	0.05/0.05/0.05	0.09/0.09/0.09	0.1/0.1/0.1
x_1	0.2016	0.2241	0.2356	0.2378
x_2	-0.0497	-0.0597	-0.053	-0.0663
x_3	0.4784	0.5348	0.5639	0.5694
Уравнение (8)+(10)				
x0	0/0/0	0.05/0.05/0.05	0.09/0.09/0.09	0.1/0.1/0.1
x_1	0.0119	0.0138	0.0101	0.0109
x_2	-0.0197	-0.0195	-0.0199	-0.0198
x_3	0.0296	0.0340	0.0252	0.0272
	1.78e-04	2.38e-04	1.28e-04	1.51e-04

Как видно из таблицы, точная система (5)+(6) дает физически неприемлемые решения (углы > 5^0), а «неточная» система (5)+(7) дает углы близкие к точным. Это оправдывает упрощение (7).Оценка (8) отслеживает точность решения для (5)+(7) и указывает на наиболее точное из полученных решений (выделено полужирным шрифтом):

$$x_1 = 0.0101,\ x_2 = -0.0199,\ x_3 = 0.0252. \quad (9)$$

Дальнейшее уточнение матрицы УС достигается подстановкой значений (9) в (6), при этом минимум оценки (8) снижается от 1.28e-04 до 9.45e-05.

Сравним погрешности УС (5)-(9) с вариантом без УС

$$\delta = norm\left(B_i - B_0\right)/norm\left(B_0\right). \quad (10)$$

Таблица 2

Сравнение оценок погрешностей (8) и (10)

без УС	УС (5)-(8)	УС (5)-(9)
(10) 0.0209	(8) 1.28e-04	(11) 9.45e-05
-	(10)/(8) = 163	(10)/(8) = 221

Таким образом, данные табл. 1 и 2 показывают, что метод (5)–(9) обеспечивает УС с достаточно высокой точностью.

Метод определения всей матрицы УС

Предположим, что в соотношении (5) скорректированные в $СОСК_i$ и $СОСК_0$ результаты синхронного измерения однородного МПЗ, включая вариации МПЗ, составлены в виде прямоугольных матриц C_i, C_0, $3\times n$, $n = 3$

$$\underbrace{\left(B^{(1)}B^{(2)}\ldots B^{(n)}\right)_i}_{C_i} = s_{i0}\underbrace{\left(B^{(1)}B^{(2)}\ldots B^{(n)}\right)_0}_{C_0} \quad (11)$$

Откуда по принципу наименьших квадратов предстаёт искомое решение относительно матрицы УС

$$s_{i0} = C_i C_0'\left(C_0 C_0'\right)^{-1}, \quad (12)$$

где C_0' – транспонированная матрица C_0, $n\times 3$. Соответственно, произведение $C_0 C_0'$ образует квадратную матрицу 3×3.

Ожидается, что погрешность (12) должна зависеть от уровня вариаций МПЗ. Для проверки этой зависимости осуществлено компьютерное моделирование (12) в условиях примера к табл. 1, но при добавлении однородных шумов с нулевым средним и разными уровнями СКО, имитирующих короткопериодные вариаций МПЗ. Погрешность (12) оценивалась как сумма утроенной нормы СКО (12) и нормы среднего (12) (см. табл. 3).

Таблица 3

Погрешности (12) в зависимости от уровней СКО вариаций

СКО вариаций, нТл	1	2	3	4	5
Норма СКО (12)	4.2	0.27	0.05	0.017	0.007
Норма среднего (12)	$4\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-3}$	$4\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$
Погрешность (12)	–	–	0.15	0.051	0.002

Таблица 4

Зависимость погрешности УС по методу (14) от угла поворота

Угол, (градус)	1	3	5	10	15
Норма СКО (14)	9.0e-04	2.8e-04	1.6e-04	7.9e-05	5.4e-05
Норма среднего (14)	1.3e-04	3.6e-05	1.8e-05	8.3e-06	4.2e-06
Погрешность (14)	2.8e-03	8.8e-04	5.0e-04	2.5e-04	1.7e-04

В литературе амплитуды короткопериодных вариаций МПЗ в спокойные периоды на широте Санкт-Петербурга оцениваются от долей до первых единиц нтл. То есть, СКО этих оценок были бы раза в три меньше.

Практически наблюдаемые значительно большие уровни вызваны индустриальными помехами, особенно от линии питания электротранспорта на постоянном токе. Но эти помехи неоднородные, то есть, они зависят от расстояний. Поэтому метод (12) может применяться в случае, если источники индустриальных помех значительны, но достаточно удалены, при этом расстояния между измерительными и опорным (компенсационным) датчиками достаточно малы.

Отметим, что ранее в монографии [6] описан аналог метода (12), посвященный компенсации вариаций МПЗ на магнитоизмерительном стенде. Вопросы и погрешности УС датчиков в [6] не рассматриваются, но делаются оптимистические выводы относительно практических возможностей компенсации вариаций.

Метод УС датчиков переносных систем магнитного поиска

Предположим, что система, схематически изображенная на рис. 2, находится вдали от объекта поиска в однородном МПЗ. Очевидно, что такая переносная система может подвергаться вспомогательным наклонам или поворотам на некоторые углы. Тогда по аналогии с выражением (5), запишем соотношение

$$\left(B'B''B'''\right)_i = s_{i0}\left(B'B''B'''\right)_0, \qquad (13)$$

где B'_i, B'_0 – синхронные, скорректированные в соответствующей СОСК, результаты измерения МПЗ при вспомогательном повороте или наклоне всей системы вокруг её координатной оси x на некоторый угол; – то же самое вокруг оси y; B'''_i, B'''_0 – то же самое вокруг оси z.

Если угол поворота будет достаточно большим, то вектор-столбцы матрицы 3×3 в правой части будут некомпланарны. Тогда для неё существует обратная матрица, что определяет искомую матрицу УС

$$s_{i0} = \left(B\ B'\ B''\right)_i \left(B\ B'\ B''\right)_0^{-1}. \qquad (14)$$

Погрешность УС по методу (14) зависит от угла поворота. Определим её с помощью компьютерного моделирования (14) при СКО вариаций МПЗ 10 нТл и СКО шумов датчиков 0.05 нТл, при прочих условиях по табл. 3.

Обсуждение результатов

В статье предложен и проанализирован ряд методов УС трехкомпонентных датчиков дифференциального магнитометра:

– метод определения углов матрицы УС или метод (5)-(9);

– метод определения всей матрицы УС или метод (12);

– метод вспомогательных поворотов системы поиска или метод (14).

Методы (5) и (12) предназначены для магнитоизмерительных стендов. Для систем магнитного поиска пригоден любой из трех.

Возможности метода (12) ограничены условием благоприятной помеховой обстановки.

Предложенные методы УС (5)–(9) и (14) в сочетании с методом корректирующих матриц [4] принципиально обеспечивают значительное повышение точности разнообразных трехкомпонентных систем специальной магнитометрии (см. табл. 2 и 4).

Список литературы

1. Marshall B.J. Operational Aspects of Magnetic Measurement Ranges // Naval Forces 1989 v 10 N2. p 72–78.

2. Патент РФ № 2521134. Способ локализации источника магнитного поля дипольной модели, 2014.

3. Matthews D.C. Contemporary degaussing measuring ranges. Maritime Defence 1979 v 4 #12 p. 499–503.

4. Иванов Ю.М., Семенов В.Г. Корректирующие матрицы – путь к повышению точности трехкомпонентных магнитометров // Измерительная техника. – 2013. – №6. – С. 46–51.

5. Merrayo J.M.J. e.a. Scalar calibration of vector magnetometers // Meas. Sci. Technol. 2000. V.11. P.120–132.

6. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1965. – С.18.

7. John J. Holmes. Exploitation of a Ship's Magnetic Field Signatures. Morgan & Claypool. 2006. P.51.

УДК 004.6: 62

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ RFID ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ

Исаев М.Д., Бузина Е.Е., Сокуренко В.В.

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: foxuk37@mail.ru

В статье рассматривается такая технология, как радиочастотная идентификация. Ее развитие положено с 30-х годов XX века. С тех пор прошло немало времени, и технологии шагнули далеко вперед. После этого данная технология закладывается именно в сферы отслеживания товаров и поставок. Именно в этих отраслях начинает преобладать радиочастотная идентификация, поскольку обладает рядом преимуществ, самый существенный из которых – возможность считывать информацию (идентифицировать) на весьма отдалённых расстояниях без присутствия человека. Это является главной причиной, почему радиочастотная идентификация начинает активно завоёвывать мировой рынок. Удалённый доступ и автоматизация различных процессов – основное преимущество данной технологии. Рассматриваются самые актуальные проблемы внедрения RFID технологий в различные отрасли производства и экономики в России. А также приемы и методы решения актуальных проблем в России.

Ключевые слова: RFID, технологии, методы, специалисты

ACTUAL PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RFID TECHNOLOGIES IN RUSSIA

Isaev M.D., Buzina E.E., Sokyrenko V.V.

Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: foxuk37@mail.ru

The article considers a technology called radio frequency identification. It is development dates from the 30s of the XX century. A lot of time has passed from that times and the technologies have moved far ahead. In our days, this technology is laid in the sphere of goods and supplies tracking. Exactly, radio frequency identification begins to prevail in these spheres, because it has several advantages, the most important of which is the ability to read (identify) information, at very high distances, without human presence. This is the main reason why radio frequency identification is beginning to conquer the world market. Remote access and automation of various processes is the main advantage of this technology. The most actual problems of introduction of RFID technologies in different industries of production and economy in Russia are considered. Besides this, the methods of solving actual problems in Russia.

Keywords: RFID, technologies, methods, specialists

Радиочастотная идентификация (RFID) является одной из самых «горячих» технологий на арене средств автоматической идентификации. Данной технология позволяет получать информацию о предмете без необходимости прямого контакта. Дистанции, на которых может проходить считывание и запись информации могут варьироваться от нескольких миллиметров до нескольких метров, в зависимости от применяемой технологии. Сами радиочастотные метки тоже являются весьма различных размеров могут быть с кредитную карту или совсем крошечные, вживляемые стеклянные метки для отслеживания перемещения животных, или большие метки, которые прикрепляются к огромным контейнерам. Радиочастотная идентификация обладает рядом преимуществ по сравнению с другими технологиями идентификации, благодаря этому RFID-системы начинают активно завоевывать массовый рынок.

Развитие этой технологии сейчас является весьма актуальным, так как в современном мире слишком сильно распространены электронные устройства, которые в значительной мере упрощают нашу жизнь: от телефонов и умных часов, до полного автоматизированного производства, учитывая что для RFID систем в большей степени не требуется прямого контакта, а всё можно контролировать с помощью удалённого доступа делает эти системы незаменимыми в любых автоматизированных процессах, как производства, так и контроля дорожного трафика, безопасности и медицины.

То, что казалось нам отголосками далекого будущего, отчасти уже доступно для реализации сейчас. Осталось не так много времени, когда смартфон человека будет основополагающей жизни человека, или даже личности. Начиная с банковского счета, заканчивая полным пакетом информации на ту или иную особу, и все это внутри вашего девайса: оплата продуктов в магазине, пропуск на территорию того или иного предприятия (организации). Достаточно будет сделать один клик, чтобы подтвердить операцию, или просто приложить устройство к считывателю, и действие будет выполнено.

Именно исходя из вышеперечисленных преимуществ можно отметить, что RFID-системы применяются в большей степени в тех случаях, когда требуется оперативный и точный контроль, отслеживание и учет многочисленных перемещений различных объектов:

• Контроль за доступом и за перемещением персонала, предоставление определенных по номочий управления и руководства тех или иных систем, баз данных и другое;

• Полное управление автоматизированными системами производства;

• Отслеживание и регулировка перемещения товаров или других складских помещений; прием товаров в магазинах, на почтах или иных курьерских службах, будь то авиа-, ж\д, или морские перевозки;

• Автоматизированный сбор данных дорожного трафика, или других дорожных терминалов, что позволит учитывать, анализировать возможные варианты, прогнозировать результаты и предлагать оптимальные маршруты передвижения.

Однако, несмотря на все преимущества данных систем, существует целый ряд проблем, которые не позволяют повсеместно, без всякого труда внедрять данные технологии. Основными причинами можно выделить следующие:

Во-первых, в России отсутствует сформированный рынок поставщиков методов, решений и продукции в области RFID систем. Именно то, что технология относительно новая, не такой широкий спектр выбора товаров и услуг, для каждой сферы. Рынок таких систем еще не сформирован, и повсеместное внедрение технологии не предвидится еще ближайшие лет пять. В России лишь единицы действительно завершенных проектов, в отличии от Западных стран, где существует огромное количество решений и методов интеграции данных технологий в повседневную жизнь, как предприятий, учреждений, так и целых городов. В России вкладывать инвестиции в данную сферу не торопятся постольку, поскольку «быстрой» выгоды из этого не получить, а именно такой подход искусственно тормозит развитие в данной области.

Во-вторых, из предыдущего следует, без инвестиций мало заинтересованности в развитии и разработке данных систем, т.к. рынок потребителей данной продукции не сформирован. Речь идет о не больших корпорациях и средних предприятиях, где пытаются выйти на более лучшие качественные и количественные показатели, путём внедрения инновационных технологий. Однако это лишь единичные случаи, в особенности это предприятия, связанные с логистикой, складским учётом, ритейл, в некоторой степени медицина и безопасность, лишь те не многие, где нужно отслеживать и контролировать.

И, в-третьих, отсутствие опытных и квалифицированных специалистов в данной области. Это естественная причина, т.к. нет персонала для развития данной технологии, изобретение новых способов и методов руководства, управления, автоматизации, отслеживание и т.д., так и менеджеров проектов, так как до конца еще не развита сама технология производства. Обучающие программы по данной тематике в России крайне мало, буквально единичные случаи, которые прощупывают иностранные конкуренты, тем самым прощупывая почву для того, чтобы понять, сформирован ли рынок, будет ли спрос, стоит ли внедрять здесь данные технологии или же нет. Поэтому в ближайшем времени, рынок будет становиться более-менее стабильным пару лет, и со временем этим системам можно будет предложить базовые решения для различных областей. Это лишь вопрос времени и компетентности средних и малых предприятий, готовы ли они к внедрению данных технологий, которые будут способствовать усовершенствованию производства (товаров и услуг), руководства и отслеживания работы этих самых компаний и предприятий.

Что касается решения этих проблем, то здесь можно выделить следующее: в научной области нужно развивать это направление, создавая новые кафедры, специальности. Необходимо закупать оборудование, чтобы тестировать и внедрять, для начала в самих ВУЗах, государственных структурах, администрациях, медицинских учреждениях. Для государственных предприятий необходимо ставить целевой набор на специалистов этой области, заключать договоры о совместных проектах с ведущими специалистами данной технологии, также и на частных предприятиях открывать курсы повышения квалификации, для приобретения навыков и умений для работы в данной области.

В итоге, мы имеем весьма инновационную технологию, с широким спектром преимуществ, колоссальными перспективами, но развитие которой заторможены теми или иными причинами. А если еще учитывать, что большинство компьютерных компонентов производится в других странах и Россия не занимает приоритетное место, в развитии и производстве интегральных схем, использующихся повсеместно, это также по-своему негативно сказывается, на развитии технологии. Таким образом, Россия в этой области, учитывая все негативные факторы, на 5–7 лет отстает в этом направлении. Нельзя не учитывать то, что производство большинства гаджетов не в России, также негативно сказывается на развитии технологии. А если учитывать, что в скором будущем гаджеты смогут совмещать в себе паспорта, медицинские карты и прочие документы, то выходит, что любое такое

устройство, будет использовано в качестве RFID системы. Именно поэтому государству уже необходимо заниматься в полной мере развитием данной технологии, чтобы нивелировать разницу внедрения данных технологий, в отличии от западных стран. К тому же, именно гаджеты и другие устройства, имеющие доступ к сети, подвергаются взломам, атакам из вне, и всегда находятся под угрозой, что в свою очередь, ставит вопрос о безопасности и полной конфиденциальности личной жизни.

Список литературы

1. Боршевников А.Е. Надежность схем биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей / А.Е. Боршевников // Технические науки: традиции и инновации: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. – Челябинск: Два комсомольца, 2012.

2. Власов А.И., Михненко А.Е. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли // Производство электроники. – 2006. – № 4. – С. 5–12.

3. Власов М. RFID:1 технология – 1000 решений: Практические примеры использования RFID в различных областях, 2014. – 218 с.

4. Дшхунян В.Л., Шаньгин В.Ф. Электронная идентификация: Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. Серия: Информационная безопасность. – М., 2004. – 696 с.

5. Поздняев А.С., Власов А.И. Становление и развитие образовательного сегмента национальной нанотехнологической сети в современных экономических условиях // Вестник Московского государственного технического университетаим.Н.Э. Баумана.Серия:Приборостроение. –2010. – № 8. – С. 178–187.

УДК 331.451

МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОЦЕНКИ И КОРРЕКЦИИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ВО ВРЕДНЫХ УСЛОВИЯХ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Крекешева Т.И., Абдрахманова Н.Б., Еримбетов С.Т.

РГКП «Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства здравоохранения и социального развития Республики Казахстан», Астана, e-mail: lrot@rniiot.kz

Предлагается концептуальная модель комплекса медико-профилактических и управленческих мероприятий по оценке и коррекции элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда на предприятиях Республики Казахстан. Медико-профилактические мероприятия предлагаемой модели включают: мониторинг элементного статуса организма работников, занятых во вредных условиях труда, мониторинг состояния здоровья работников, занятых во вредных условиях труда, организацию и оказание медико-санитарной помощи. В управленческие мероприятия входит организация и управление организационно-техническими, информационно-техническими, протекционными мероприятиями, направленными на улучшение условий труда, снижение уровня вредного воздействия на организм работников и защиту здоровья, посредством предупреждения дисбаланса элементного статуса организма. Концептуальная модель комплекса медико-профилактических и управленческих мероприятий по оценке и коррекции элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда, важное социальное и экономическое значение, в связи с тем, что обеспечивает успешное решение социальных, экономических, демографических и пр. задач.

Ключевые слова: условия труда, работники, элементный статус, дисбаланс, модель медико-профилактических и управленческих мероприятий

PREVENTIVE AND MANAGEMENT MEASURES ON EVALUATION AND CORRECTION OF ELEMENTAL STATUS OF WORKERS EMPLOYED IN HARMFUL WORKING CONDITIONS AT THE ENTERPRISES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Krekesheva T.I., Erimbetov S.T., Abdrakhmanova N.B.

Republican scientific and research Institute of protection on labor of The ministry of healthcare and social development of the Republic of Kazakhstan, Astana, e-mail: lrot@ rniiot.kz

The conceptual model of the complex of medical-preventive and administrative measures for the assessment and correction of elemental status of workers employed in harmful working conditions at the enterprises of the Republic of Kazakhstan. Medical and preventive measures of the proposed model include: monitoring the elemental status of the body of workers employed in harmful working conditions, monitoring of health status of workers employed in harmful working conditions, the organization and delivery of health care. In the management activities include the organization and management of organizational, technical, information technology, and protectionist measures aimed at improving working conditions, reducing adverse effects on the organism of workers and protection of health through prevention of imbalance of the elemental status of the body. A conceptual model of the complex of medical-preventive and administrative measures for the assessment and correction of elemental status of workers employed in harmful working conditions, important social and economic significance, due to the fact that ensures the successful solution of social, economic, demographic and so on.

Keywords: working conditions, workers, elemental status, the imbalance, the model of preventive and management measures

Система государственного регулирования в области безопасности и охраны труда Республики Казахстан (далее – РК) включает комплекс мер, направленных на обеспечение конституционных прав граждан на здоровые и безопасные условия труда на законодательной и нормативной основе. В частности, на основании статьи 185 Трудового кодекса РК одной из мер является проведение работодателем за счет собственных средств периодических медицинских осмотров и обследований работников, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в порядке, установленном законодательством РК. Вместе с тем, по официальным данным Комитета по статистике Министерства национальной экономики РК ежегодно у значительного количества работников выявляются заболевания, обусловленные воздействиями вредных производственных факторов.

В этой связи, с целью раннее выявление вредного воздействия производственных факторов на организм работников в рамках научных исследований была проведена оценка элементного статуса работников на изучаемых предприятиях металлургической, химической и нефтехимической отраслей республики в зависимости от ус-

ловий труда, характера питания, стажа работы, возраста, профессии и проанализирована связь дисбаланса элементного статуса организма с заболеваемостью. Выявлено, что заболеваемость работников, занятых во вредных условиях труда на изучаемых предприятиях, формируется на фоне дисбаланса элементного статуса организма.

С целью профилактики профессионально обусловленных заболеваний работников, формирующихся на фоне дисбаланса элементного статуса организма, по результатам исследований была разработана концептуальная модель на основе единства медико-профилактических и управленческих мер по оптимизации опасностей и рисков, и коррекции дисбаланса элементного статуса организма работников.

Цель разработки состояла в оказании содействия работодателям и специалистам в области охраны труда промышленных предприятий республики в обеспечении единого подхода в вопросах организации работы по проведению медико-профилактических и управленческих мер по коррекции элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда. Предлагаемая концептуальная модель основана на принципе последовательного выполнения медико-профилактических и управленческих мероприятий для снижения рисков здоровью работающих во вредных условиях труда и предупреждения дисбаланса элементного статуса их организма.

Комплекс медико-профилактических мероприятий на рис. 1, призван обеспечить эффективность профилактики профессиональных и неспецифических профессионально обусловленных заболеваний с временной утратой трудоспособности у работников, занятых во вредных условиях труда.

Медико-профилактические мероприятия данной модели включают три основных блока: мониторинг элементного статуса организма работников, занятых во вредных условиях труда; мониторинг состояния здоровья работников, занятых во вредных условиях труда, организацию и оказание медико-санитарной помощи.

Блок I. Мониторинг элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда включает формирование референтных групп на основе аттестации рабочих мест, определение содержания химических элементов в образцах биосубстратов, оценку элементного статуса работников, формирование групп «риска» по результатам оценки элементного статуса работников.

Формирование референтных групп для оценки элементного статуса работников проводится по структурным подразделениям предприятия на основе аттестации рабочих мест по условиям труда.

Рис. 1. Комплекс медико-профилактических мероприятий концептуальной модели по коррекции элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда на предприятиях РК

Данный подход позволяет установить связь между дисбалансом элементного статуса работника конкретного структурного подразделения и источниками вредных воздействий на его организм на определенном этапе технологического процесса. Выявление таких источников имеет важное значения для обоснования управленческих, организационно-технических и прочих мероприятий, направленных на улучшение условий труда и сохранение здоровья работников в конкретном структурном подразделении.

В зависимости от особенностей трудовой деятельности и контакта с производственными факторами (прямой, косвенный) референтные группы разделяются на 2 категории.

Референтные группы первой категории формируются из работников, занятых во вредных условиях труда на основных структурных подразделениях предприятия. Референтные группы второй категории формируются из работников, занятых в непроизводственной сфере предприятия.

Определение содержания химических элементов в образцах биосубстратов. Данный этап начинается с процедуры оформления письменного информированного добровольного согласия на оценку элементного статуса организма на основании Кодекса РК от 18.09.2009 г. № 193–IV «О здоровье народа и системе здравоохранения», в связи с тем, что оценка элементного статуса организма относится к рекомендуемым мерам. Во время данной процедуры каждому работнику разъясняются цель проведения оценки элементного статуса организма и суть процедуры данной оценки.

Перед проведением процедуры сбора образцов волос на каждого участника заполняется информационная форма, в которой прописывались номер образца, дата отбора, ФИО работника, наименование предприятия и структурного подразделения, стаж работы на предприятии, занимаемая должность/профессия, тяжесть труда (класс), напряженность труда (класс), класс условий труда, пол, возраст, вес, естественный цвет волос, информация об окраске волос, алопеции (облысении), краткое описание состояния здоровья, комментарии о тип питания, пищевых привычках, приеме витаминно-минеральных комплексов и/или лекарственных препаратов, злоупотреблении алкоголем, курении, замечания о типе шампуня и частоте применения.

Затем проводят сбор биообразцов (волос) по утвержденной методике. По сравнению с другими биосубстратами, элементный состав волос позволяет с высокой степенью надежности выделить группы «риска» по гипер- и гипоэлементозам для дальнейшего углубленного медицинского обследования работников и своевременного принятия мер, которые способны восстановить нарушения гомеостаза биоэлементов в организме и связанные с ними биохимические и физиологические функции организма [1, 2, 3].

Образцы волос вкладываются в бумажный конверт с идентификационной записью, при этом отмечался корневой конец пряди, и направляются для количественного определения химических элементов в аккредитованную лабораторию.

В договоре между руководством предприятия и аккредитованной лабораторией прописывается метод определения химических элементов в образцах волос. Высокая информативность имеет количественный многоэлементный анализ [4]**.** Прописывается выбор от 25 до 40 химических элементов на основе биологической значимости жизненно необходимых элементов, например, Ca, Mg, K, Na, P, Fe, Co, Cu, I, Se, Zn, Mn, а также степени токсичности, при избыточном накоплении в организме таких биоэлементов, как Si, Cr, V, Ni, As, Cd, Li, Hg, Al, B, Be, Pb, Sn.

В договоре необходимо указать форму предоставления результатов анализа химических элементов по каждому образцу волос и заключения по результатам определения химических элементов по каждому образцу волос. При предоставлении полученных результатов анализа химических элементов могут быть использованы общепринятые таблицы и графические изображения. Важно, чтобы аккредитованной лабораторией было проведено соответствие содержания химического элемента его биологически оптимальному уровню (БОУ) и определена степень отклонения от БОУ.

Оценка элементного статуса работников проводится по отклонениям от биологически оптимального уровня химического элемента (выделяют 1, 2, 3 и 4 степени отклонения). По признаку отклонения выявленных показателей от биологически оптимального уровня основывается диагностика выраженности макро- и микроэлементных нарушений в организме работников и оценивается их элементный статус [5, 6].

Оценку элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда, рекомендуется проводить с периодичностью – 1 раз в полгода. У работников, занятых в непроизводственной сфере предприятия – 1 раз в год.

Формирование групп по результатам оценки элементного статуса работников. На основании оценки элементного ста-

туса организма работники разделяются по группам:

– практически здоровые работники, у которых содержание макро- и микроэлементов в их организме соответствует оптимальному физиологическому уровню, т.е. естественному содержанию химических элемента в организме практически здоровых людей;

– работники, имеющие признаки воздействия на организм вредных производственных факторов.

Работников, имеющих признаки воздействия на организм вредных производственных факторов, разделяют на две группы:

– работники с незначительным дисбалансом макро- и микроэлементов в организме; в их организме содержание макро- или микроэлемента соответствует условному биологически допустимому уровню, т.е. практически соответствует верхней или нижней границе биологически оптимального уровня химического элемента, что проявляется снижением адаптационных механизмов организма перед воздействиями вредных факторов среды;

– работники с дисбалансом макро- и микроэлементов, характерным для заболевания; в их организме выявлен «критический уровень», связанный со значительным превышением физиологических границ и/или дефицитом по одному или нескольким химическим элементам, приводящие к биохимическими изменения в процессах жизнедеятельности организма, обусловленные токсическим действием избыточного накопления, или к нарушениям процессов жизнедеятельности организма из-за дефицита жизненно важных макро- и микроэлементов.

Проведение лечебно-профилактических мероприятий для работников с незначительным дисбалансом макро- и микроэлементов в организме включает организацию санаторно-курортного лечения и коррекцию дисбаланса макро- и микроэлементов немедикаментозными методами. Для работников с дисбалансом макро- и микроэлементов, характерным для заболевания – клинические методы лечения, реабилитация и социальная защита работников с выявленным профессиональным заболеванием.

Работникам с содержанием макро- и микроэлементов в организме на оптимальном физиологическом уровне проводится профилактика дисбаланса элементного статуса на основе профилактического питания.

Результаты мониторинга элементного статуса организма работников используются при разработке комплексных программ для решения проблем профилактики профессиональных и неспецифических профессионально обусловленных заболеваний с временной утратой трудоспособности и улучшение условий труда.

Блок II. Мониторинг состояния здоровья работников, занятых во вредных условиях труда, включает периодические медицинские осмотры и формирование групп по состоянию здоровья работников. Он направлен на раннее выявление заболеваний, сохранение здоровья, снижение инвалидности и смертности работников, профилактику заболеваний и воспитание культуры здоровья.

Периодические медицинские осмотры проводятся на основании и в соответствии с законодательством РК в данной сфере с целью предупреждения возникновения заболеваний, предупреждения прогрессирования заболеваний на ранних стадиях и их последствий, контроля уже развившихся осложнений. Их проведение обеспечивает динамическое наблюдение за состоянием здоровья работающих на основе его скрининга, который своевременно может установить начальные признаки заболеваний, предупредить общие, профессиональные заболевание и нераспространение инфекционных и паразитарных заболеваний с целью охраны здоровья.

Помимо периодических медицинских осмотров, работники проходят обязательные предварительные медицинские осмотры, предсменное, послесменное и иное медицинское освидетельствование, а также профилактические медицинские осмотры в случаях, предусмотренных актом работодателя и при переводе на другую работу на основании пунктов 4 и 17 статьи 182, а также статьи 185 Трудового кодекса РК.

Работодатель в первую очередь организовывает проведение периодических медицинских осмотров и обследований работников, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда и создает условия для прохождения профилактических медицинских осмотров лицами, подлежащими данным осмотрам, в соответствии с Перечнем гарантированного объема бесплатной медицинской помощи.

Формирование групп по состоянию здоровья работников. Формирование групп по результатам периодического медицинского осмотра проводит медицинская организация, обслуживающее предприятие, или территориальная медицинская организация по месту нахождения работодателя. По результатам периодического медицинского осмотра работников разделяют наследующие группы:

– здоровые работники, не нуждающиеся в реабилитации;

– работники, имеющие признаки воздействия на организм вредных производственных факторов.

Блок III. Организация и оказание медико-санитарной помощи на основе медицинских мер, в соответствии с законодательством в данной области [147], по сформированным группам:

– работники с заболеваниями на ранних стадиях;

– группы диспансерного учета.

В зависимости от принадлежности к группе проводятся медицинские меры: лечение, реабилитация, предупреждение прогрессирования заболевания, контроль над уже развившимися осложнениями, предупреждение начальных стадий заболеваний, формирование здорового образа жизни.

Предупреждение прогрессирования заболеваний на ранних стадиях и их последствий основывается на проведении профилактического лечения с целью профилактики обострения и включает:

– разработку индивидуальных программ противорецидивного лечения;

– своевременное проведение обследования с целью выявления обострения заболевания;

– обучение работника правилам предупреждения обострений заболевания;

– воспитание культуры здоровья.

Контроль над уже развившимися осложнениями, повреждениями органов и тканей проводится на основе разработанных индивидуальной программы восстановительного лечения, т.е. заключается в медико-социальной реабилитации и медицинской профилактики.

Предупреждение заболеваний проводится на основе медицинских мер (вакцинации), рационального питания и питьевого режима, гигиенического воспитания работников, организации рационального режима труда и отдыха, активного занятия физической культурой и др.

Формирование здорового образа жизни включает в себя пропаганду здорового образа жизни, здорового питания и профилактику заболеваний путем информационного обеспечения, гигиенического обучения и воспитания работников в вопросах укрепления здоровья и предупреждения болезней, связанных с образом жизни.

Таким образом, организация и оказание медико-санитарной помощи включает в себя мероприятия по профилактике, диагностике, лечению заболеваний и состояний, медицинской реабилитации. Основной целью данного комплекса мер является охрана здоровья и обеспечение лечения работников, занятых во вредных условиях труда.

Эффективность медико-профилактических мероприятий по предупреждению дисбаланса элементного статус работников, занятых во вредных условиях труда, во многом зависит от управленческих мероприятий, призванных уменьшить неблагоприятные воздействия вредных производственных факторов на работников, и, вследствие этого, предупредить формирование дисбаланса макро- и микроэлементов в их организме. В этой связи, был разработан комплекс управленческих мероприятий, представленный на рисунке 2.

Данный комплекс включает организацию и управление организационно-техническими, информационно-техническими, протекционными мероприятиями, направленных на улучшение условий труда, снижение уровня вредного воздействия на организм работников и защиту здоровья, посредством предупреждения дисбаланса элементного статуса организма.

В блок организационно-технических мероприятий входят Целевые программы по созданию, реализации и развитию Системы управления охраной труда и на предприятии.

Кроме того, меры по обеспечению безопасности производственных зданий, сооружений и помещений, обеспечению безопасности производственного оборудования посредством переоснащения более производительными и безопасными машинами и механизмами, обеспечению безопасности технологических процессов посредством дистанционного управления, роботизации и пр., предупреждению аварийных ситуаций, организация проведения аттестации производственных объектов по условиям труда, идентификации опасностей и проведению оценки профессиональных рисков.

В блок информационно-технических мероприятий входят организация обучения, инструктирование и проверка знаний по вопросам безопасности и охраны труда, организация коммуникации и обмена информацией по охране труда, меры по повышению мотивации работников на соблюдение нормативных требований по охране труда.

В блок протекционных мероприятий входит организация обеспечения средствами коллективной защиты, специальной одеждой, специальной обувью, средствами индивидуальной защиты, обеспечения санитарно-бытового обслуживания работников.

Управленческие мероприятия реализуются посредством свода нормативных правовых актов, методических документов, регламентирующих технологию производства, техническое обеспечение, работу службы охраны труда, ее структуру, функции, штаты и пр.

Рис. 2. Комплекс управленческих мероприятий, направленных на предупреждение дисбаланса элементного статуса работников, занятых во вредных условиях труда

Целевые программы по созданию, реализации и развитию Системы управления промышленной безопасностью и охраной труда на предприятии рекомендуется разрабатывать в виде системы увязанных между собой по содержанию, срокам, ресурсам мероприятий производственно-технического, научно-технического, социального, организационного и прочего характера, направленных на достижение единой цели – обеспечение промышленной безопасности и охраны труда на предприятия, улучшение условий труда, снижение уровня воздействия производственных факторов и риска дисбаланса элементного статуса организма работников.

В профилактике травматизма и профессиональных заболеваний существенное значение имеет соблюдение санитарных норм, технических регламентов, предъявляемых к безопасности производственных зданий, сооружений и помещений, производственных технологий и производственного оборудования. Кроме того, с целью защиты здоровья работников важное значение имеет организация предупреждения аварийных ситуаций, обеспечение коллективными и индивидуальными средствами защиты, обеспечение санитарно-бытового обслуживания работников.

Для достижения поставленных целей в области охраны труда существенное значение имеет мотивация работников к повышению культуры безопасности и охраны труда, соблюдению нормативных требований в области охраны труда. Успешное решение данных задач обеспечивает обучение, инструктирование и проверка знаний по вопросам безопасности и охраны труда.

С целью обеспечения единства медико-профилактических мероприятий по коррекции элементного статуса работников с управленческими мероприятия рекомен-

дуются соблюдение требований нормативных правовых актов РК в области охраны труда и в области здравоохранения.

Таким образом, предлагаемая концептуальная модель, посредством управленческих мер, наряду с медико-профилактическими мероприятиями, призвана обеспечить эффективность всей системы управления охраной труда на предприятии и профилактику профессионально обусловленных заболеваний, формирующихся на фоне дисбаланса элементного статуса организма при контакте работников с вредными производственными факторами. В этой связи, разработанная модель имеет важное социальное и экономическое значение, обеспечивая успешное решение социальных, экономических, демографических и пр. задач.

Список литературы

1. Серебрянский Е.П., Скальный А.В., Чеватова О.Ю., Скальная М.Г., Демидов В.А. Комплексный подход к элементному анализу волос с использованием методов ИСП-АЭС и ИСП-МС // Микроэлементы в медицине. – 2003. – № 4 (1). – С. 41–46.

2. Дубовой Р.М. К вопросу об информативности определения содержания химических элементов в волосах при оценке элементного статуса организма // Микроэлементы в медицине. – 2009. – № 10 (1–2). – С. 85–87.

3. Фролова О.О. Восстановление функциональных резервов у работников машиностроительного предприятия путем коррекции элементного статуса: Автореф. дис. … канд. мед. наук. – М., 2007. – 26 с.

4. Некрасов В.И. Элементный статус жителей Новосибирска, работающих в атомной промышленности и занятых в непроизводственной сфере // Вестник ОГУ. – 2005. – № 12. – С. 168–171.

5. Скальная М.Г., Скальный А.В., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Лобанова Ю.Н. Установление границ физиологического (нормального) содержания некоторых химических элементов в волосах жителей г. Москвы с применением центильных шкал // Вестник С.-Петербурского КМА им. И.И. Мечникова. – 2004. – № 4. – С. 82–88.

6. Скальная М.Г., Демидов В.А., Скальный А.В. О пределах физиологического (нормального) содержания Ca, Mg, Zn и Cu в волосах человека // Микроэлементы в медицине. – 2003. – № 4(2). – С. 5–10.

УДК 624.154

ПОГРУЖЕНИЕ, РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВАИ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Кужахметова Э.Р.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, e-mail: elja_09@bk.ru

В статье представлена конструкция монолитной железобетонной сваи конической формы с нижним щебневым расширением шарообразной формы, обеспечивающая при горизонтальных и вертикальных нагрузках большую несущую способность в грунте за счет своей формы. Целью данной работы является расчетное сравнение предлагаемой сваи со сваями других форм, обосновывающее возможность применения висячей сваи конической формы в виде сваи – стойки путем устройства послойного щебневого расширения на конце и вокруг сваи. Подобное конструктивно – технологическое решение приводит к снижению стоимости фундамента. Кроме этого в случае реконструкции здания данный способ оказывается наиболее эффективным, поскольку послойная забивка щебня в основание будущей буронабивной сваи обеспечит, как показывает расчетный анализ, существенное уменьшение ее осадки. Расчеты свай выполнены с применением пространственных (3–D) конечноэлементных моделей в программном комплексе FEMAP / NX NASTRAN.

Ключевые слова: свая, прочностной расчет свай, деформационный расчет свай, метод конечных элементов, монолитная железобетонная свая конической формы, свая в форме конуса, послойная забивка щебня, щебеночная оболочка

DIPPING, CALCULATION AND CONSTRUCTION OF THE MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE PILE OF THE CONICAL FORM

Kuzhakhmetova E.R.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: elja_09@bk.ru

The article presents the construction of a monolithic reinforced concrete pile of conical shape with lower ballast expansion of the spherical shape, which provides a high load-carrying capacity in the ground for horizontal and vertical loads due to its shape. The aim of this paper is a computational comparison of the proposed pile with piles of other shapes, which justifies the possibility of using a pendant pile conical in the form of a pile – rack by means of a layer – by – layer detrital expansion at the end and around the pile. Such a constructive technological solution leads to a decrease in the cost of the foundation. In addition, in the case of the reconstruction of the building, this method proves to be the most effective, since layerwise driving of crushed stone into the base of the future bored pile will provide, as shown in the calculation analysis, a significant reduction in its draft. Pile calculations are performed using spatial (3–D) finite element models in the FEMAP / NX NASTRAN software package.

Keywords: pile, strength calculation of piles, deformation calculation of piles, finite element method, monolithic reinforced concrete pile of conical shape, pile in the form of a cone, layer-by-layer driving of crushed stone, crushed stone

Монолитная железобетонная свая конической формы [1] находит применение в строительстве зданий и сооружений разного назначения. По способу заглубления в грунт свая конической формы является буронабивной. Подобная технология оказывается особенно удобной и безопасной при возведении зданий (сооружений) вблизи существующих. Использование свай конической формы при реконструкции зданий, является не только экономически эффективным, но и незаменимым, поскольку забивка сваи обычной формы на глубину сваи существующего здания может оказаться опасной для самого здания.

Погружение

Выполнение монолитной железобетонной сваи конической формы осуществляется в следующей последовательности. Сначала пробуривается вертикальная скважина цилиндрической формы на всю длину сваи, т.е. до проектной отметки. Затем на дно скважины периодически подсыпается щебень небольшими порциями. Путем послойной забивки щебня до отказа в нижнем конце сваи создается шарообразное щебневое расширение. В образовавшуюся цилиндрическую скважину с нижним щебневым расширением вставляется раскатчик. Дальнейшая подсыпка щебня в скважину продолжается небольшими частями. С помощью круговых движений раскатчика щебень вдавливается в грунт, уплотняя его. Таким образом, образуется скважина конической формы, стенки которой образованы уплотненным грунтом и щебнем. В утрамбованную таким образом щебневую оболочку устанавливается пространственный арматурный каркас в форме конуса, состоящий из вертикально-продольных стержней, диаметр которых определяется расчетным путем. Стержни соединяются между собой горизонтальными хомутами, шаг и диаметр, которых устанавливается по конструктивным требованиям нормативных источников.

Вертикальное положение арматурного каркаса сваи обеспечивается за счет крепежных элементов, изготовленных в виде двух пересеченных стержней и установленных внутри каркаса с шагом в 1/3 длины сваи по высоте. Дополнительные стержни креплений выступают из каркаса на величину 0,05–0,07 м, согласно существующим конструктивным требованиям. После установки арматурного каркаса в скважину подается бетонная смесь с последующим вибрированием (рис. 1).

бень любой фракции согласно ГОСТ 8267. Для расчета принят щебень группы «А» с размерами $(40–70)\cdot10^{-2}$ мм с модулем упругости E = 350 МПа (табл. 3.2 [3]) и коэффициентом Пуассона ν=0,3. Толщина щебня вокруг железобетонной сваи составляет 0,1 м. Таким образом, верхний диаметр щебневой оболочки D составит 0,8 м, а нижний диаметр d = 0,5 м. Диаметр нижнего щебневого шарообразного уширения на конце сваи составляет приблизительно 1,0 м. Следовательно, общая длина набивной сваи кони-

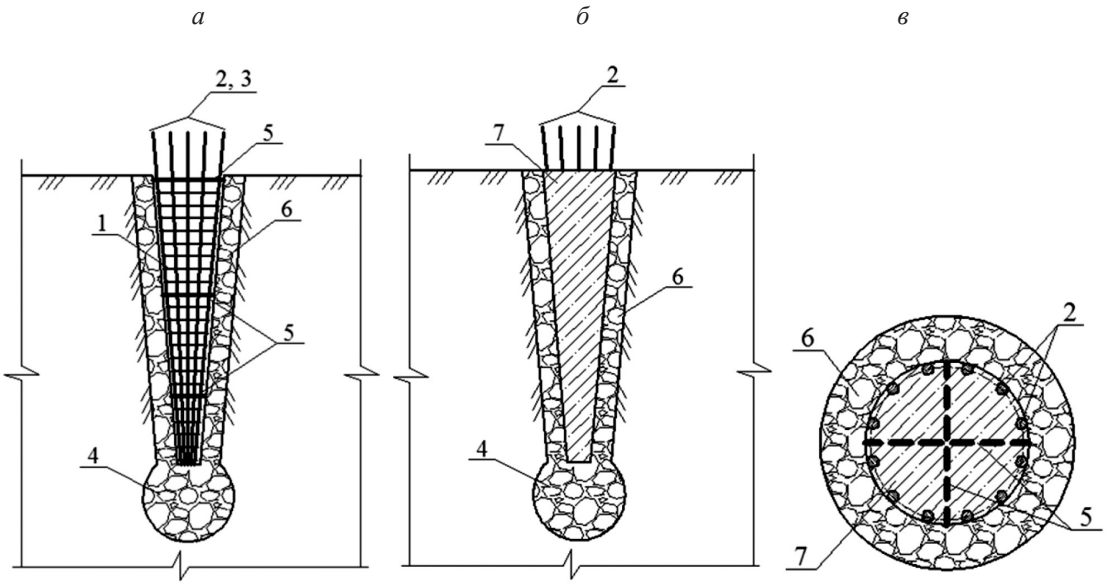


Рис. 1. Монолитная железобетонная свая конической формы:
а – вид сваи в разрезе; б – общий вид сваи; в – вид сваи в плане:
1 – пространственный арматурный каркас, выполненный в форме конуса; 2 – продольные арматурные стержни периодического профиля; 3 – поперечные стержни (хомуты); 4 – щебневое расширение округлой формы; 5 – дополнительный крепеж в виде стержней; 6 – утрамбованная щебневая оболочка; 7– бетонный наполнитель

Расчет и конструирование

Для расчетного исследования монолитной железобетонной сваи конической формы приняты следующие исходные данные: верхний диаметр сваи $D_{св}$ = 0,6 м, нижний диаметр $d_{св}$ = 0,3 м, длина железобетонной сваи L=2,0 м. Материал сваи – тяжелый бетон класса В15, с модулем упругости $E_b = 24\cdot10^3$ МПа (табл. 6.11 [2]). Значение модуля сдвига бетона принято равным $G_b = 0{,}4E_b = 0{,}4\cdot24\cdot10^3 = 9{,}6\cdot10^3$ МПа (п. 6.1.15 [2]) и коэффициент Пуассона ν=0,2 (п. 6.1.17 [2]). Объем бетона сваи конической формы составляет $V_{св}$=0,3297 м^3. Опалубкой для набивной сваи служит щебень любой фракции согласно ГОСТ 8267. Для расчета принят щебень группы «А» с размерами $(40–70)\cdot10^{-2}$ мм с модулем упругости E = 350 МПа (табл. 3.2 [3]) и коэффициентом Пуассона ν=0,3. Толщина щебня вокруг железобетонной сваи составляет 0,1 м. Таким образом, верхний диаметр щебневой оболочки D составит 0,8 м, а нижний диаметр d = 0,5 м. Диаметр нижнего щебневого шарообразного уширения на конце сваи составляет приблизительно 1,0 м. Следовательно, общая длина набивной сваи конической формы с учетом нижнего щебневого расширения достигает 3,0 м.

Грунт основания – песок четвертичного отложения, пылеватый (коэффициент пористости е = 0,65) с модулем деформации E = 18 МПа, углом внутреннего тения φ = 30 град., удельным сцеплением c = 4 кПа (табл. Б.1 [4]) и коэффициентом Пуассона ν = 0,3 (табл. 5. 10 [4]).

Далее рассмотрим три расчетно-пространственные модели с разными нагрузками:

Модель №1 – внешняя горизонтальная нагрузка на сваю P = 100 кН (10 т) (см. рис. 2);

Модель №2 – внешняя вертикальная нагрузка N = 1000 кН (100 т) (см. рис. 3);

Модель №3 – суммарное нагружение, т. е. одновременное приложение двух нагрузок – горизонтальной P = 100 кН и вертикальной N = 1000 кН (см. рис. 4).

Для поверочного расчета сваи на горизонтальное перемещение целесообразно использовать дискретную расчетную схему, подобную приведенной в [5, 6].

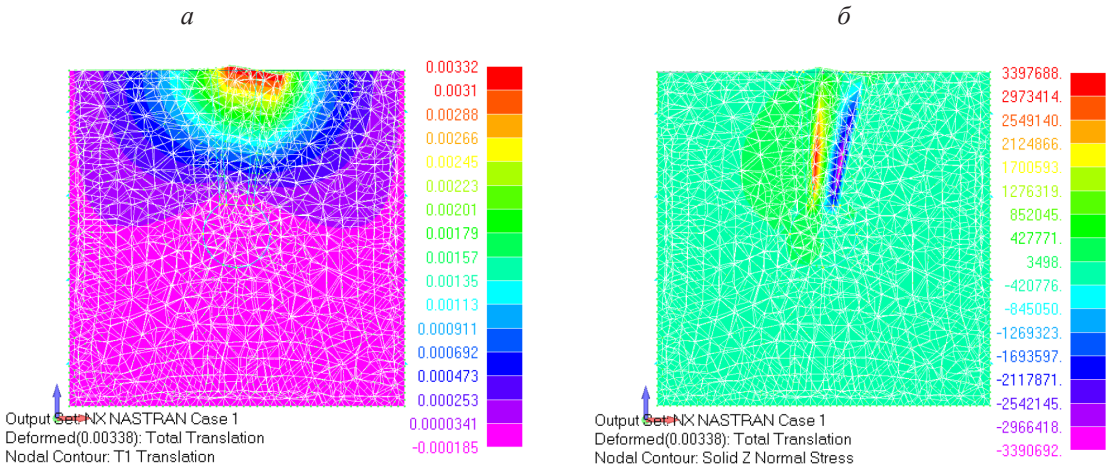


Рис. 2. Расчетно-пространственная модель с горизонтальной нагрузки P = 100 кН: а – перемещение сваи в метрах; б – нормальное напряжение σ по оси Z в Н/м² в свае и массиве грунта

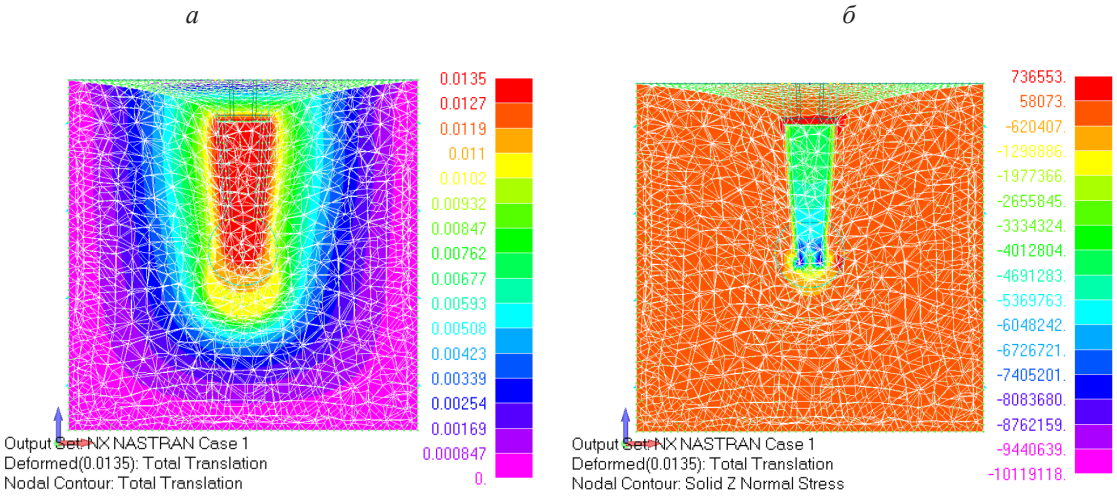


Рис. 3. Расчетно-пространственная модель с вертикальной нагрузки N = 1000 кН: а – перемещение сваи и массива грунта в метрах; б – нормальные напряжения σ по оси Z в Н/м² в свае и массиве грунта

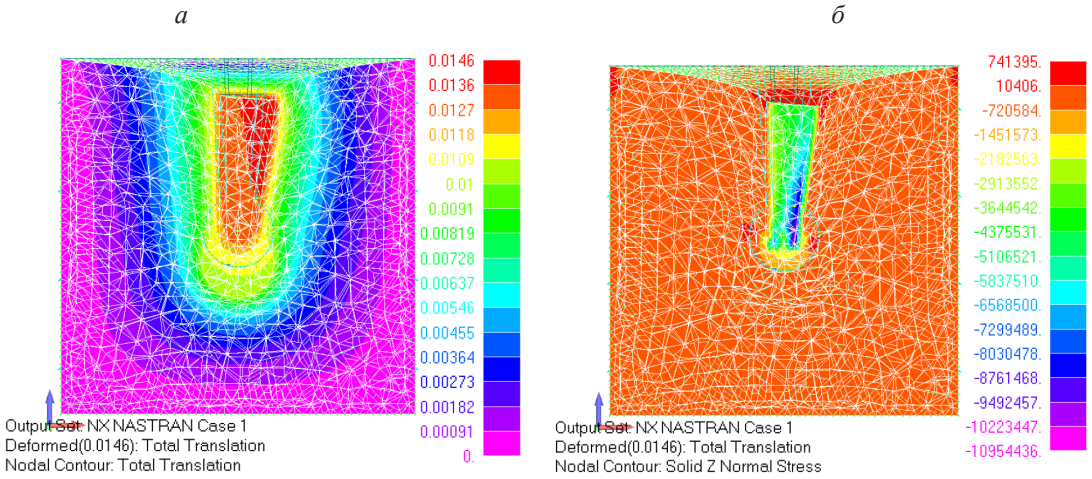


Рис. 4. Расчетно-пространственная модель с горизонтальной P=100 кН и вертикальной N=1000 кН силами:
а – перемещение сваи и массива грунта в метрах; б – нормальное напряжение σ по оси Z в Н/м² в свае и массиве грунта

Для сопоставительного расчета выбрана монолитная железобетонная свая конической формы длиной L = 2,0 м без щебневого расширения на конце сваи и свая квадратного сечения с размерами 0,4 х 0,4 м длиной L=2,0 м с равным объемом V=0,32 м³. Причем свая квадратного сечения имеет щебневое расширение диаметром 1 м. Результаты расчета свай при равных внешних нагрузках приводятся в табл. 1 и 2, рис. 5, 6, 7. Расчет выполнен в программном комплексе FEMAP / NX NASTRAN с использованием объемного элемента Solid по форме четырехугловой тетраэдр.

Таблица 1

Результаты расчета свай на горизонтальную нагрузку *P*

№ п/п изолиний	Горизонтальное перемещение V, (х10–3 м) при P (кН):											
	100				300				500			
	Конусо-образная свая		Прямо-угольная свая		Конусо-образная свая		Прямо-угольная свая		Конусо-образная свая		Прямо-угольная свая	
	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-ре-ния	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	3,32	4,33	4,10	4,46	9,97	13,00	12,30	13,38	16,6	21,63	20,50	22,30
2.	3,10	3,99	3,83	4,13	9,31	12,00	11,50	12,39	15,5	19,99	19,10	20,65
3.	2,88	3,65	3,55	3,81	8,65	10,90	10,60	11,43	14,4	18,25	17,70	19,05
4.	2,66	3,31	3,27	3,48	7,99	9,94	9,82	10,44	13,3	16,51	16,40	17,40
5.	2,45	2,97	3,00	3,15	7,34	8,92	8,99	9,45	12,2	14,87	15,00	15,75
6.	2,23	2,64	2,72	2,82	6,68	7,91	8,16	8,46	11,1	13,14	13,60	14,10
7.	2,01	2,30	2,44	2,50	6,02	6,89	7,33	7,50	10,0	11,49	12,20	12,50
8.	1,79	1,96	2,17	2,17	5,36	5,88	6,50	6,51	8,94	9,79	10,80	10,85
9.	1,57	1,62	1,89	1,84	4,71	4,86	5,67	5,52	7,84	8,10	9,45	9,20
10.	1,35	1,28	1,61	1,51	4,05	3,86	4,84	4,53	6,75	6,41	8,07	7,55
11.	1,13	0,94	1,34	1,19	3,39	2,83	4,02	3,57	5,65	4,72	6,69	5,95
12.	0,91	0,61	1,06	0,86	2,73	1,82	3,19	2,58	4,56	3,02	5,31	4,30
13.	0,69	0,26	0,78	0,53	2,08	0,80	2,36	1,59	3,46	-1,34	3,93	2,65
14.	0,47	-0,07	0,51	0,20	1,42	-0,21	1,53	0,60	2,36	-0,35	2,55	1,00
15.	0,25	-0,41	0,23	-0,12	0,76	-1,23	-0,07	-0,36	1,27	-2,05	1,17	-0,60
16.	0,03	-0,74	-0,04	-0,45	0,10	-2,24	-0,13	-1,35	0,17	-3,74	-0,22	-2,25
17.	-0,18	-1,09	-0,32	-0,77	-0,55	-3,26	-0,96	-2,31	-0,93	-5,43	-1,60	-3,85

Таблица 2

Результаты расчета свай на вертикальную нагрузку *N*

№ п/п изо-лий	Вертикальное перемещение *s*, (x10^{-3} м) при *N* (кН):											
	1000				3000				5000			
	Конусо-образная свая		Прямо-угольная свая		Конусо-образная свая		Прямо-угольная свая		Конусо-образная свая		Прямо-угольная свая	
	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения	с уши-рени-ем	без уши-рения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	13,5	22,8	14,2	20,8	40,6	68,5	42,6	62,4	67,7	114	71,0	104
2.	12,7	21,4	13,3	19,5	38,1	64,3	39,9	58,5	63,5	107	66,5	97,5
3.	11,9	20,0	12,4	18,2	35,6	60,0	37,3	54,6	59,3	100	62,1	91,0
4.	11,0	18,6	11,5	16,9	33,0	55,7	34,6	50,7	55,0	92,8	57,7	84,5
5.	10,2	17,1	10,6	15,6	30,5	51,4	31,9	46,8	50,8	85,7	53,2	78,0
6.	9,32	15,7	9,76	14,3	27,9	47,1	29,3	42,9	46,6	78,5	48,8	71,5
7.	8,37	14,3	8,87	13,0	25,4	42,8	26,6	39,0	42,3	71,4	44,4	65,0
8.	7,62	12,9	7,98	11,7	22,9	38,6	24,0	35,1	38,1	64,3	39,9	58,5
9.	6,77	11,4	7,10	10,4	20,3	34,3	21,3	31,2	33,9	57,1	35,5	52,0
10.	5,93	10,0	6,21	9,10	17,8	30,0	18,6	27,3	29,6	50,0	31,0	45,5
11.	5,08	8,57	5,32	7,80	15,2	25,7	16,0	23,4	25,4	42,8	26,6	39,0
12.	4,23	7,14	4,44	6,50	12,7	21,4	13,3	19,5	21,2	35,7	22,2	32,5
13.	3,39	5,71	3,55	5,20	10,2	17,1	10,6	15,6	16,9	28,6	17,7	26,0
14.	2,54	4,28	2,66	3,90	7,62	12,9	7,98	11,7	12,7	21,4	13,3	19,5
15.	1,69	2,86	1,77	2,60	5,08	8,57	5,32	7,80	8,47	14,3	8,87	13,0
16.	0,85	1,43	0,89	1,30	2,54	4,28	2,66	3,90	4,23	7,14	4,44	6,50
17.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

а *б*

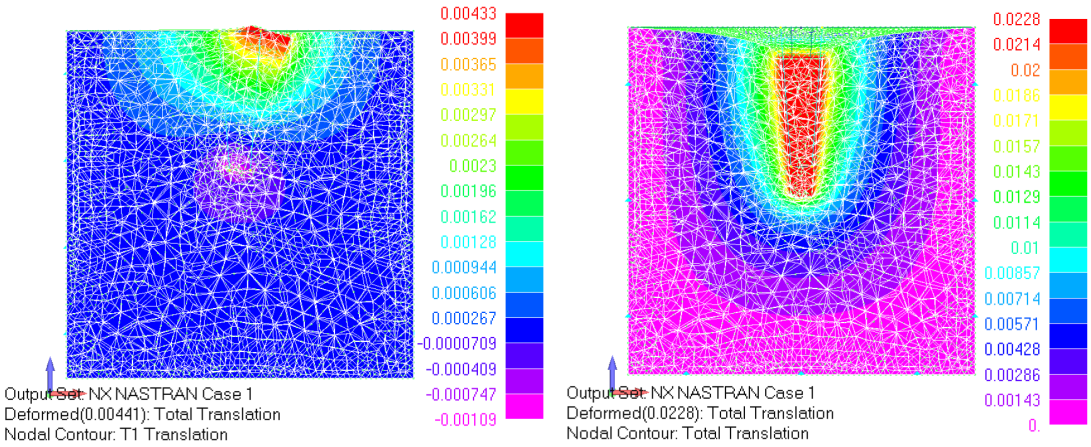


Рис. 5. Конусообразная свая без нижнего щебневого уширения:
а – перемещения V, (м) от горизонтальной нагрузки P =100 кН; б – осадка s,(м) от вертикальной нагрузки N=1000 кН

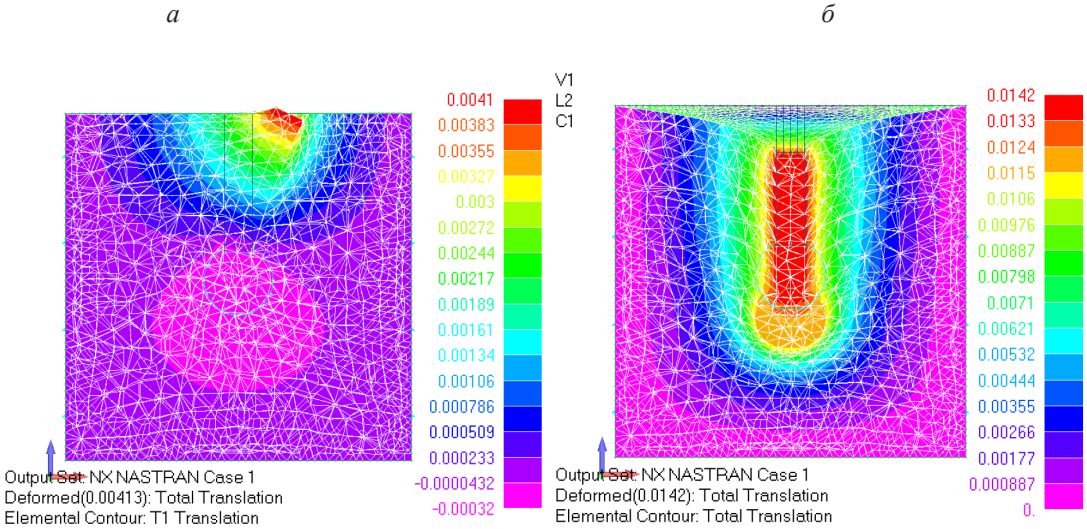


Рис. 6. Прямоугольная свая с нижним щебневым уширением:
а – перемещения V (м) от горизонтальной нагрузки P =100 кН; б – осадка s (м) от вертикальной нагрузки N =1000кН

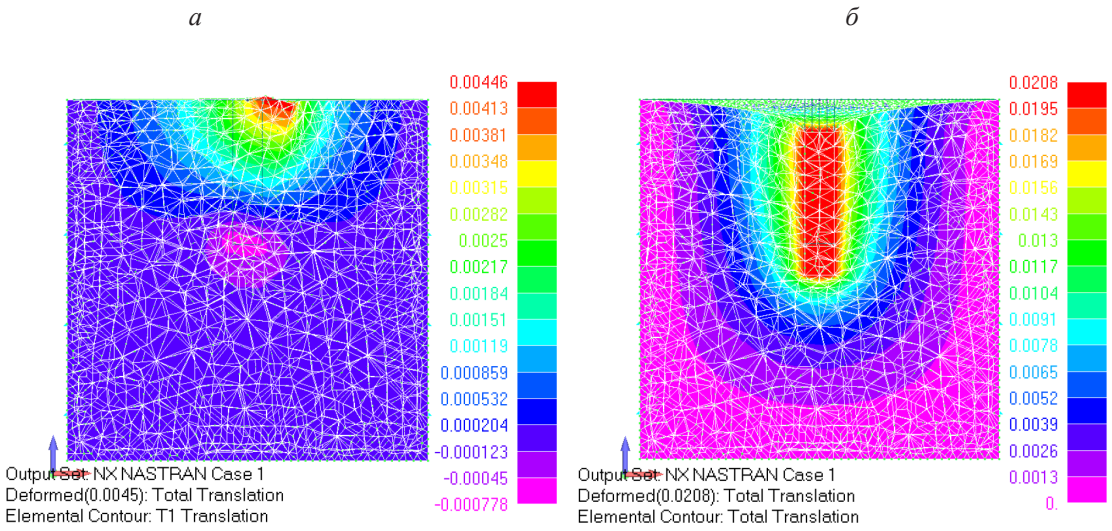


Рис. 7. Прямоугольная свая без нижнего щебневого уширения:
а – перемещения V, (м) от горизонтальной нагрузки P =100 кН; б – осадка s,(м) от вертикальной нагрузки N =1000 кН

Основные выводы

Анализ результатов расчетов показал, что форма сваи и щебневое расширение оказывают существенное влияние на перемещение сваи и околосвайного пространства. В частности, щебень уменьшает горизонтальное смещение ее нижнего конца. Например, для сваи конической формы с расширением горизонтальное смещение V при нагрузке P = 100 кН составит 0,185× 10^{-3} м (рис. 2а), для сваи конической формы без расширения – V=1,09 x 10^{-3} м (рис. 5а), для прямоугольной сваи с щебневым расширением – V=0,32 x 10^{-3} м (рис. 6а), а для сваи прямоугольной сваи без щебневого расширения – V=0,778 x 10^{-3} м (рис. 7а, табл. 1).

Расчеты показывают, что для сваи конической формы с нижним щебневым расширением (прямая – 1) при вертикальной нагрузке N=7000 кН максимальная осадка s составила 0,0948 м (рис. 8). Как известно,

расчет оснований по деформациям производят исходя из условия $s \leq \Delta s$, где Δs – предельная осадка равная 0,1 м (табл. Д.1 [4]), $s = 0{,}0948$ м $\leq \Delta s = 0{,}1$ м. Следовательно, свая конической формы со щебневым нижним расширением обладает, при действии вертикальных нагрузок, более высокой несущей способностью и жесткостью, в сравнении со сваей традиционной формы. Так, для сваи обычной (прямоугольной) формы с нижним щебневым расширением (прямая – 2) при вертикальной нагрузке N=6000 кН расчетная осадка составила s=0,0852 м. Для конической формы без нижнего щебневого расширения (прямая – 3) при вертикальной нагрузке N=4000 кН расчетная осадка сваи s=0,0912 м, а для прямоугольной сваи (прямая – 4) при N=4000 кН – s=0,0832 м (рис. 8).

Таким образом, щебневое расширение уменьшает осадку, вызванную внешними нагрузками, что является важным экономическим фактором. Расширение позволяет использовать висячую сваю конической формы в виде сваи – стойки конической или обычной формы.

Форма сваи в виде конуса обеспечивает, в отличие от обычной сваи, большую сопротивляемость горизонтальным нагрузкам P (рис. 2, 5), оказывающим наибольшее давление на грунт в ее верхней части. Таким образом, если вокруг монолитной железобетонной сваи конусообразной формы создана уплотненная грунтово-щебневой оболочка, то горизонтальное смещение сваи от нагрузки P будет незначительно. Если в нижнем конце сваи создается щебневое расширение, то послойно забитый в грунт щебень ограничит горизонтальное смещение нижнего конца сваи. При действии больших вертикальных нагрузок N щебневая оболочка и щебневое расширение, а также создаваемый, согласно принятой технологии, утрамбованный слой грунта вокруг щебня обеспечивают большую сопротивляемость сваи и существенно уменьшают величину осадки (рис. 8).

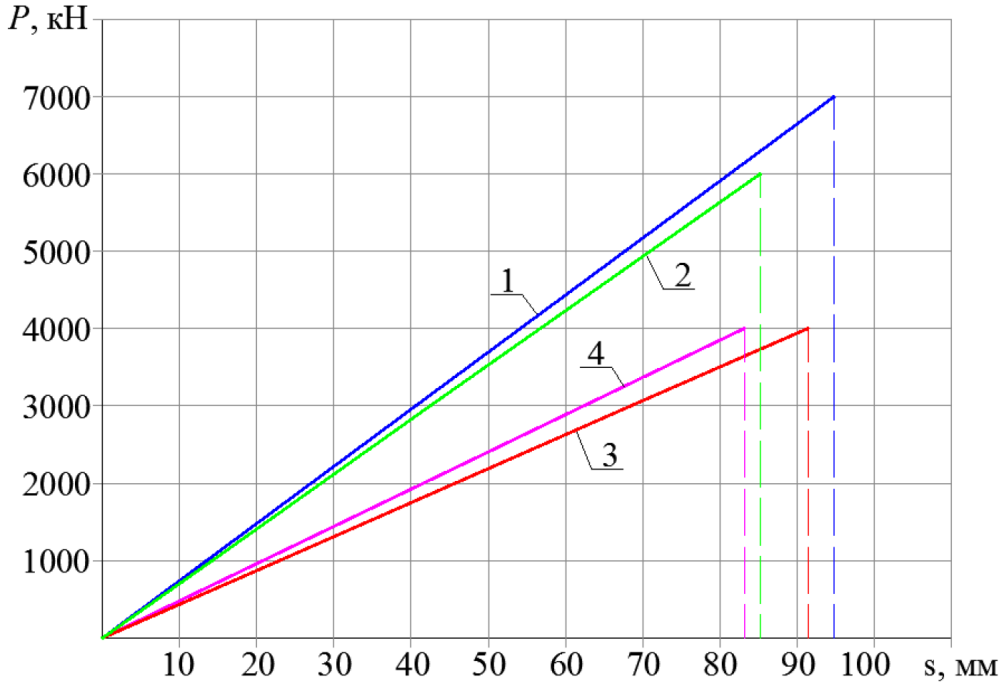


Рис. 8. График нагрузка P (кН) – осадка s (м):
1 – свая конусообразной формы с щебневым расширением; 2 – прямоугольная свая с щебневым нижним расширением; 3 – свая конусообразной формы без щебневого расширения; 4 – прямоугольная свая без щебневого расширения

Потребность в монолитной железобетонной конусообразной свае возникает в связи с необходимостью минимизации вертикальной осадки *s* по периметру пристроя. В указанной ситуации забивка свай традиционной (прямоугольной) формы может представлять опасность, особенно если забивка осуществляется на глубину свай основного здания. Забивка щебня вибратором на глубине $L + (0{,}5 \div 0{,}7L)$ не будет вызывать для здания опасных сотрясений. К тому же создание фундамента на основе монолитных железобетонных свай конической формы со щебневой оболочкой вокруг нее и нижним расширением оказывается целесообразным не только с конструктивной, но и с экономической точки зрения.

Список литературы

1. Патент на полезную модель № 2015107101/03, 02.03.2015.

2. Кужахметова Э.Р., Сапожников А.И. Конструкция монолитной железобетонной сваи конической формы // Патент России №157318.2015. Бюл. № 33.

3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции.

4. Методические рекомендации по повышению качества дорожных оснований из щебня различных пород. – М.: СоюзДОРНИИ, 1980.

5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.

6. Кужахметова Э.Р. Сравнительный анализ работы длинных и коротких свай при горизонтальном загружении / Э.Р. Кужахметова, А.И. Сапожников // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015. – №5–6. – С. 32–36.

7. Сапожников А.И. Способы погружения, прочностные и деформационные расчеты свай / А.И. Сапожников, Э.Р. Кужахметова, 2015. – 71 с.: ил.

УДК 539.21

ВКЛАД ГРАНИЦ ЗЕРЕН С ФАСЕТИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ ВО ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ

Кульков В.Г.

Филиал НИУ «МЭИ», Волжский, e-mail: vikulkov@yandex.ru

В работе описаны модели высокотемпературного фона внутреннего трения на границах зерен, имеющих фасетированную структуру. Рассмотрены два основные типа структур, различающиеся по размерности. На основе решения неоднородного уравнения диффузии в условиях действия переменного напряжения находятся скорость смещения зерен и величина фона внутреннего трения. Учтен эффект подстройки напряжения при изменяющейся деформации. На температурно-частотной зависимости фона внутреннего трения выделяются два участка с различной эффективной энергией активации. Положение точки излома графика этой зависимости позволяет оценить средний размер фасеток. В спектре внутреннего трения имеются пики. Их возникновение обусловлено следующими двумя причинами. Это межзеренное проскальзывание в пределах фасеток и перераспределение примесных атомов между различно ориентированными фасетками. Приводятся выражения для зависимости внутреннего трения от температуры и частоты в этих двух случаях.

Ключевые слова: межзеренная граница, внутреннее трение, высокотемпературный фон, пик внутреннего трения

CONTRIBUTION OF GRAIN BOUNDARIES WITH A FACETED STRUCTURE IN THE INTERNAL FRICTION

Kulkov V.G.

Branch of the Moscow power engineering institute, Volzhskiy, e-mail: vikulkov@yandex.ru

The paper describes the models of the high-temperature internal friction background at grain boundaries that have a faceted structure. Two basic types of structures that differ in dimension are considered. On the basis of the inhomogeneous diffusion equation solution under the conditions of the action of variable stress, the speed of grain displacement and the magnitude of the internal friction background are found. The effect of stress adjustment under varying deformation is taken into account. On the temperature-frequency dependence of the internal friction background, two regions with different effective activation energies are distinguished. The position of the fracture point of the graph of this dependence makes it possible to estimate the average facet size. The spectrum of internal friction has peaks. Their occurrence is due to the following two reasons. This interspersed slip within the facets and redistribution of impurity atoms between differently oriented facets. Expressions are given for the dependence of internal friction on temperature and frequency in these two cases.

Keywords: grain boundary, internal friction, high-temperature background, peak of internal friction

Изучение механизмов внутреннего трения в твердых телах имеет, по меньшей мере, два аспекта практического использования. Во-первых, метод внутреннего трения является очень информативным и тонким методом исследования структуры и свойств конденсированного состояния. Например, этим методом можно определять коэффициенты диффузии примеси в кристаллах в условиях низких и комнатных температур, когда получение этих величин из диффузионного опыта затруднительно и требует высокой точности измерения малых концентраций, а также значительной продолжительности проведения эксперимента. Метод внутреннего трения позволяет определять основные параметры дефектной структуры кристаллов, распределения структурных дефектов по геометрическим признакам, параметры равновесного и неравновесного фазового состояния и т.д. В некоторых случаях этот метод является единственным для измерения отдельных параметров. Во-вторых, понимание механизмов процесса позволяет прогнозировать физические свойства новых материалов и проектировать их состав и структуру с целью получения высоких демпфирующих свойств.

Известно, что границы зерен являются важнейшим типом дефектов в поликристаллических материалах. Их состояние и физические процессы с их участием в значительной степени определяют поведение материала в условиях внешних воздействий полей различной природы. При аналитическом рассмотрении проскальзывания по границам и обусловленного им внутреннего трения сами границы обычно принимаются плоскими. Реальные границы неизбежно содержат различные отклонения от плоской конфигурации. В общем случае при разориентации зерен, близкой к специальной, границы имеют фасетированную структуру. Описание кинетики фазового перехода фасетирования межзеренных границ дано в работах [1 – 3]. Подобная структура поверхностей раздела в металлах приводит к ряду особенностей протекания релаксационных процессов с их участием [4]. Возросший интерес к изучению механизмов

релаксационных процессов в твердом теле актуален не только в связи с развитием физики конденсированного состояния, но также и рядом приложений этой науки к техническим проблемам [5].

Целью настоящей работы является описание механизмов зернограничного внутреннего трения при нагружении материала периодической внешней силой.

Модели высокотемпературного фона

Примем модель, в которой граница имеет структуру из симметрично чередующихся плоских фасеток, расположенных под углами ±α к некой воображаемой усреднённой плоскости, вдоль которой действует переменное сдвиговое напряжение $\sigma_0 \exp\left(i\left(\omega t-\varphi\right)\right)$, где σ_0 – амплитуда. Поверхность границы гофрирована, с размером фасеток в одном направлении порядка размера зерна. Такая структура является одномерно фасетированной. Под действием напряжения сегменты поочерёдно становятся источниками и стоками вакансий в зависимости от времени. Можно считать, что в пределах каждого сегмента действует периодический источник $A\exp\left(i\omega t\right)$, фаза которого в общем случае не совпадает с напряжением.

Исходя из симметрии задачи, достаточно рассмотреть один такой сегмент-фасетку ширины L, наклонённый под углом α к направлению внешнего сдвигового напряжения. Координатные оси выберем в плоскости фрагмента так, что ось x направлена вдоль отрезка направляющей ломаной линии, а y – вдоль образующей. Задача диффузии вакансий является одномерной, поскольку мы пренебрегаем потоком их в объём зёрен по сравнению с граничными потоками по причине малости отношения коэффициентов объемной и граничной диффузии.

Для избыточной концентрации вакансий на сегменте $C_b\left(x,t\right)$ можно записать неоднородное уравнение диффузии:

$$\frac{\partial C_b\left(x,t\right)}{\partial t}=D_b\frac{\partial^2 C_b\left(x,t\right)}{\partial x^2}+A\exp\left(i\omega t\right). \quad (1)$$

Здесь D_b – коэффициент зернограничной диффузии вакансий. Симметрия диктует выполнение граничных условий

$$C_b\left(0,t\right)=C_b\left(L,t\right)=0.$$

Решаем задачу методом Фурье. С этой целью представляем постоянную A в (1) в виде ряда по синусам. Решение (1) имеет вид

$$C_b\left(x,t\right)=\exp\left(i\omega t\right)\sum_m\frac{4AL^2\exp\left(-i\varphi_m\right)\sin\frac{\pi m x}{L}}{\pi^3 D_b m\sqrt{m^4+Z^2}},$$

$$m=1,3,5... \quad (2)$$

Здесь введены обозначения:

$$Z=\frac{\omega L^2}{\pi^2 D_b},$$

$$\mathrm{tg}\varphi_m=\frac{\omega L^2}{D_b\pi^2 m^2},$$

$$\sin\varphi_m=\frac{\omega}{\sqrt{D_b^{\,2}\left(\frac{\pi m}{L}\right)^4+\omega^2}},$$

$$\cos\varphi_m=\frac{D_b\pi^2 m^2}{L^2\sqrt{D_b^{\,2}\left(\frac{\pi m}{L}\right)^4+\omega^2}}.$$

При невысоких значениях внешнего напряжения нормальное напряжение σ_n на сегменте линейно связано с избыточной концентрацией вакансий на нём:

$$\sigma_n\left(x,t\right)=\frac{C_b\left(x,t\right)kT}{C_{0b}\Omega},$$

где Ω – атомный объём. С учетом (2) это дает [6]:

$$\sigma_n\left(x,t\right)=\exp\left(i\omega t\right)\frac{4AL^2kT}{\pi^3 D_b C_{0b}\Omega}\times$$

$$\times\sum_m\frac{\exp\left(-i\varphi_m\right)\sin\left(\frac{\pi m x}{L}\right)}{m\sqrt{m^4+Z^2}}. \quad (3)$$

Скорость движения зёрен определяется плотностью потока j вакансий из сегмента через обе его границы:

$$\upsilon=\frac{j\delta\Omega}{L\sin\alpha}, \quad (4)$$

где δ – диффузионная толщина границы. Находя поток и подставляя его в (4), получим

$$\upsilon=\frac{A\delta\Omega}{\sin\alpha}\exp\left(i\omega t\right)-$$

$$-\frac{i\omega\sigma_0 C_{0b}\delta\Omega^2\cos\alpha}{kT}\exp\left(i\omega t-\varphi\right). \quad (5)$$

Внутреннее трение, обусловленное вкладом одного сегмента длиной y, равно

$$Q_1^{-1} = \frac{\Delta W_1}{2\pi W}. \qquad (6)$$

Здесь в числителе стоит энергия, рассеянная за цикл

$$\Delta W_1 = y\int_0^L\int_0^{T_0} \mathrm{Re}\left(\sigma\left(x,t\right)\right)\mathrm{Re}\left(\upsilon\left(t\right)\right)dxdt$$

на площади сегмента. В знаменателе величина

$$W = \frac{V_0\sigma_0^2}{2G},$$

где G – модуль сдвига, равна упругой энергии зерна. Величину А найдем, учитывая т.н. эффект подстройки напряжений [7]. С этой целью приравняем величину сил внешнего и внутреннего напряжений на сегменте

$$\left|\sigma_0 L\sin 2\alpha\exp\left(i\left(\omega t-\varphi\right)\right)\right| = \left|\int_0^L \sigma_n\left(x,t\right)dx\right|.$$

За объём зерна примем

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi R^3,$$

где R – средний его размер. Учитывая предыдущие формулы, найдем величину внутреннего трения [8]:

$$Q^{-1} = \frac{3\pi^2\kappa G C_{0b}\delta\Omega^2}{4kTR}\left[\left(\frac{1}{Z}\sum_m\frac{1}{m^4+Z^2}\right)\times\right.$$

$$\left.\times\left(\left(\sum_m\frac{1}{m^4+Z^2}\right)^2+\left(\sum_m\frac{Z}{m^2\left(m^4+Z^2\right)}\right)^2\right)^{-1}\right]. \qquad (7)$$

Геометрический множитель к учитывает долю принадлежности границы зерну и его реальную форму.

Размеры фасеток на границах зерен могут значительно различаться. Интересен случай бимодального их распределения. Если один вид фасеток имеет малый размер относительно другого, и угол взаимного наклона их близок к прямому, то такие границы называют ступенчатыми. Проскальзывание по ним имеет диффузионный характер [9]. Рассмотрим границу, состоящую из равноотстоящих друг от друга ступенек высоты d чередующихся знаков. Между ними расположены протяженные плоские участки длины $2l$. Переменное сдвиговое напряжение, действующее на них, приводит к тому, что на ступеньках противоположного знака возникают растягивающие и сжимающие напряжения. Это влечет изменение химического потенциала вакансий и их диффузии между ступеньками. Решение диффузионной задачи, подобной описанной выше с периодическими источниками на ступеньках, приводит к выражению для скорости и напряжения:

$$\upsilon = \frac{2D_b C_b'\gamma\delta\Omega\left(1+i\right)}{d}\mathrm{ctg}\left(\gamma\left(1+i\right)l\right)\exp\left(-i\omega t\right), \qquad (8)$$

$$\sigma\left(t\right) = \frac{C_b' dkT}{2C_{0b}\Omega l}\left(1+\lambda^{-1}\mathrm{ctg}\left(\gamma l\right)\right)\exp\left(-i\omega t\right). \qquad (9)$$

Здесь

$$\gamma = \sqrt{\frac{\omega}{2D_b}},$$

C_b' – константа, определяющая амплитуду концентрации на ступеньке,

$$\lambda = d^2kT \Big/ 4D_b\delta\Omega^2 C_{0b}\eta\gamma l,$$

η – эффективная вязкость границы.

Повторяя выкладки, подобные приведенным ранее, после преобразований получаем [10] выражение для величины внутреннего трения:

$$Q^{-1} = \frac{2\theta Gl\cos\left(\varphi_2-\varphi_1\right)\sqrt{F\left(2\gamma l\right)}}{R^2\eta\omega}\left[\left(\sin\left(2\gamma l\right)+\lambda F\left(\gamma l\right)\right)^2+\right.$$

$$+\left(\mathrm{sh}\left(2\gamma l\right)+\lambda F\left(\gamma l\right)\right)^2\Bigg]^{-\frac{1}{2}}. \qquad (10)$$

$$tg\varphi_1=\frac{\sin 2l\gamma - sh2l\gamma}{\sin 2l\gamma+\mathrm{sh}2l\gamma+2\lambda F\left(\gamma l\right)},\ \mathrm{tg}\varphi_2=\frac{\sin 2l\gamma - sh2l\gamma}{\sin 2l\gamma+sh2l\gamma},\ F\left(z\right)=\sin^2 z+\mathrm{sh}^2 z\,.$$

Избыточные вакансии в объеме зерна имеют тенденцию оседать на границах, где они при определенных условиях могут образовать поры. В [11] предложена двумерная модель внутреннего трения на границах, имеющих параллельные ступеньки и цилиндрические поры диаметра, равного размеру ступенек. Симметрия граничных условий теряется, поэтому граница в условиях действия переменного сдвигового напряжения является источником и стоком вакансий для объемной диффузии. В двух предельных случаях внутреннее трение имеет вид:

$$Q^{-1}=\frac{6\kappa G D_2 l_1^2 C_0\Omega^2}{d^2 kTRl_2\omega}, \qquad (11)$$

$$Q^{-1}=\frac{6\sqrt{2}\kappa G l_1 C_0\Omega^2\sqrt{D_1 D_2}}{d^2 kTR\omega}. \qquad (12)$$

Выражение (11) описывает область низких частот или высоких температур $\omega l_1^2 D_1^{-1}<<1$, а (12) – обратную ситуацию. D_1 и D_2 – зернограничный и объемный коэффициенты диффузии, l_1 – расстояние между ступенькой и порой, l_2 – расстояние от границы до стоков вакансий в объеме.

На основе приведенной модели можно описать высокотемпературный фон внутреннего трения в двумерно фасетированных границах. Необходимо учесть диффузионные потоки в двух независимых направлениях в границе. Если пренебречь объемными диффузионными потоками, то можно ограничиться рассмотрением картины диффузии по развертке граничной поверхности, которая имеет различный вид в соответствующих частных случаях. Решение диффузионной задачи в общем случае приводит [4, 12] к выражению:

$$Q_0^{-1}=\frac{\pi^4 p\gamma^2 C_{0b}\Omega^2\delta E}{32kTR}\times$$

$$\times\frac{1}{Z\Sigma_0}\sum_{m,n}\frac{m^2+n^2}{\left(mn\right)^2\left(\left(m^2+n^2\right)^2+Z^2\right)}, \qquad (13)$$

где m и n принимают значения 1, 3, 5,..., а коэффициент p учитывает геометрию границы.

Пики внутреннего трения

В то время как проскальзывание по границе в целом имеет диффузионный характер вследствие наличия на фасетках нормальных составляющих напряжений, проскальзывание по самим фасеткам под действием касательных напряжений имеет консервативный характер. Такое проскальзывание ограничивается линиями сопряжения фасеток, а в центральной их области имеет наибольший размах. В приближении квазиоднородного сдвига, ограниченного линейными дефектами дислокационного типа в линиях, ограничивающих фасетки, можно найти величину внутреннего трения. Его частотная зависимость имеет характер дебаевского пика. Подробное рассмотрение вопроса [12 – 14] приводит к выражению для частотной зависимости величины затухания колебаний

$$Q^{-1}=\frac{p\pi\left(1-\nu\right)LE}{RG}\frac{\omega\tau}{1+\left(\omega\tau\right)^2},$$

$$\tau=\frac{\left(1-\nu\right)\chi^2 S_0^2 n' L}{4GD_b' kT}, \qquad (14)$$

Здесь R – размер зерна, ν – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, L – ширина фасетки, n' и D_b' – концентрация и коэффициент диффузии примеси в границе.

Полученное выражение хорошо согласуется с экспериментально полученным спектром в ультрамелкозернистой меди, приготовленной методом равноканального углового прессования с последующей прокаткой [15].

Границы зерен в реальных материалах очень часто содержат различные примеси. В условиях переменного внешнего напряжения примесные атомы периодически диффузионным путем перераспределяются между различно ориентированными фасетками. Эффективная толщина границ зависит от концентрации в них примесных атомов. Это приводит к появлению специфического пика внутреннего трения. Аналогичный эффект возникает в нанокристаллическом материале [14, 16, 17] при перераспределении примеси между разными гранями кристаллитов. На основе решения уравнения бародиффузии и использования результатов, приведенных выше, найдено выражение для пика внутреннего трения в этом случае.

$$Q^{-1} = \frac{\pi^3 \lambda G \Omega^2 \delta C'_e}{4\sqrt{2} RkT} \times$$

$$\times \left(\left(\sum_m \frac{1}{m^4 + Z^2} \right)^2 + \left(\sum_m \frac{Z}{m^2 \left(m^4 + Z^2 \right)} \right)^2 \right)^{-1} \sum_m \frac{Z'}{\left(m^4 + Z'^2 \right) \left(m^4 + Z^2 \right)}. \quad (15)$$

Здесь

$$Z = \frac{\omega R^2}{\pi^2 D_b}, \; Z' = \frac{\omega R^2}{\pi^2 D'_b},$$

D'_b – зернограничный коэффициент диффузии примеси, $\lambda = \left(n_0 / a \right) \left(\partial a / \partial C'_b \right)$ – размерный фактор, определяемый из концентрационной зависимости постоянной решетки раствора; $n_0 = \Omega^{-1}$ – количество атомов матрицы в единице объёма. Концентрация C'_b определяется как количество примесных атомов на единицу объёма материала границы.

Обсуждение результатов

На рис. 1 приведен график зависимости $\ln Q^{-1} T$ от T^{-1} согласно выражению (7). Он имеет два прямолинейных участка, поразному наклоненных к оси абсцисс. Это соответствует различным энергиям активации процесса.

Такой вид зависимости внутреннего трения можно понять из соображений оценочного характера. Поток вакансий J из сегмента определяется градиентом их концентрации, который пропорционален

$$J \sim D_b C_b / l \sim D_b \sigma_0 / lT,$$

где l – диффузионная длина вакансий. Тогда потери ΔW за период колебаний T_0 пропорциональны

$$\Delta W \sim J \sigma_0 T_0 \sim D_b T_0 \sigma_0^2 / lT,$$

упругая энергия $W \sim \sigma_0^2$. Следовательно, $Q^{-1} \sim D_b T_0 / lT$. При низких частотах или высоких температурах диффузия успевает пройти на всем сегменте. оэтому за диффузионную длину можно принять его размер L, который от периода колебаний не зависит, тогда $Q^{-1} T \sim D_b T_0 \sim D_b / \omega \sim Z^{-1}$. В области высоких частот или низких температур основную роль в диффузионных процессах

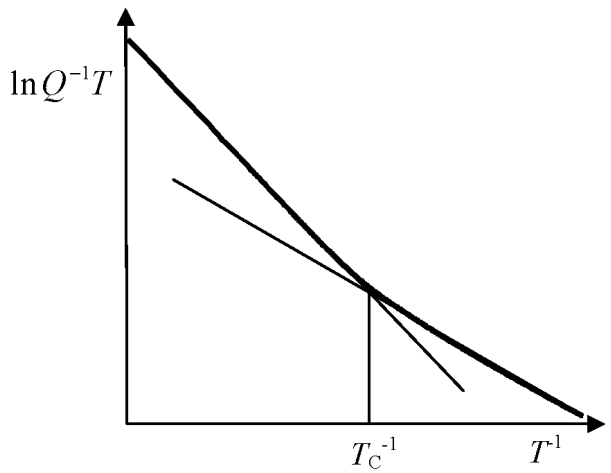


Рис. 1. Температурная зависимость фона ВТ

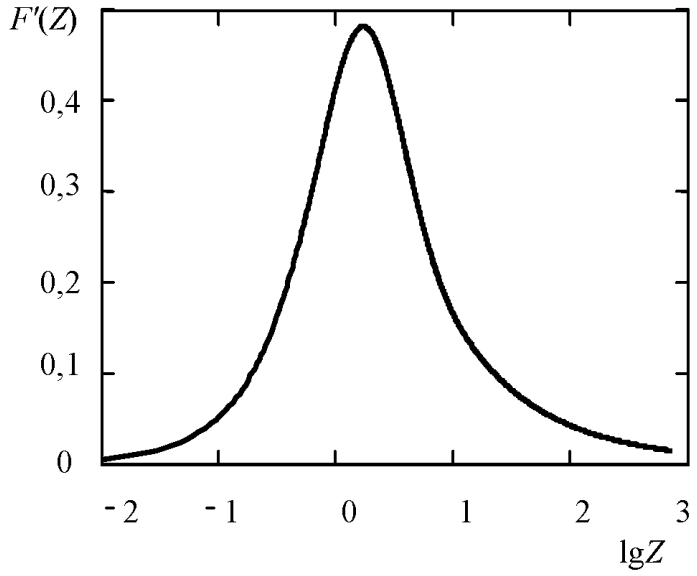


Рис. 2. Пик, связанный с перераспределением примеси

играют области вблизи границ сегмента протяженностью

$$l \sim \sqrt{2D_b T_0}\ .$$

В этом случае

$$Q^{-1}T \sim \sqrt{D_b T_0} \sim \sqrt{D_b/\omega} \sim T^{-1/2}\ .$$

Переход от одного участка к другому с разными наклонами не является резким, а происходит в некотором температурном интервале, ширина которого связана с разбросом в размерах фасеток. Оценка их среднего размера дает выражение

$$\langle L \rangle \sim \sqrt{2D_b T_C}\ .$$

Подобная температурно-частотная зависимость характерна для фона внутреннего трения двумерно фасетированных, а также ступенчатых границ.

Температурно-частотная зависимость внутреннего трения $F(Z)$ (множителя в (15), зависящего от Z, пропорционального частоте) для случая $Z' = Z$ представлена на рис. 2. В отличие от дебаевского пика изображенный здесь пик несколько несимметричен.

Заключение

В работе рассмотрены основные модели внутреннего трения на границах зерен, имеющих одномерно и двумерно фасетированную структуру. Высокотемпературный фон связан с наличием на фасетках нормальных напряжений и имеет диффузионную природу. На его температурной зависимости имеются области с разными эффективными энергиями активации. Существование пиков внутреннего трения связано с зернограничным проскальзыванием вдоль фасеток или с перераспределением между ними примесных атомов.

Список литературы

1. Кульков В.Г. Кинетика фасетирования несоразмерной межкристаллитной границы наклона // Неорганические материалы. – 2005. – Т. 41, № 7. – С. 892–896.

2. Кульков В.Г Кинетика двумерного фасетирования межкристаллитных границ // Неорганические материалы. – 2005. – Т. 41, № 11. – С. 1405–1408.

3. Кульков В.Г., Васильева Ю.В. Математическая модель процесса фасетирования межзеренных границ // Альтернативная энергетика и экология. – № 14. – 2013. – С. 40–44.

4. Кульков В.Г. Релаксационные процессы на границах зерен в металлах: монография. – Волжский: Филиал МЭИ в г. Волжском, 2015. – 162 с.

5. Кульков В.Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении. – СПб.: Изд. «Лань», 2017. – 272 с.

6. Кульков В.Г. Внутреннее трение на межзеренных границах с одномерной фасетированной структурой // Известия ВУЗов. Физика. – 2005. – Т. 48, № 11. – С. 39–43.

7. Кульков В.Г., Жихарева М.Г. Проскальзывание по фасетированным границам зерен с учетом подстройки напряжения // Деформация и разрушение материалов. – 2005. – №1. – С. 46–48.

8. Кульков В.Г. Внутреннее трение в поликристалле с фасетированными границами // Вестник МЭИ. – 2005. – № 3. – С. 120–123.

9. Кульков В.Г. Межзеренное скольжение по границе с уступами // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2005. – № 8. – С. 84–87.

10. Кульков В.Г. Внутреннее трение на границах зерен, содержащих протяженные изломы // Вестник Воронежского ГТУ. Сер. Материаловедение. – 2005. – Вып. 1.17. – С. 54–57.

11. Кульков В.Г., Васильева Ю.В. Зернограничное внутреннее трение на ступенчатых границах с микронесплошностями // Перспективные материалы. – 2009. – № 7. – С. 171–175.

12. Кульков В.Г. Спектр внутреннего трения в поликристаллических материалах с фасетированными границами // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2005. – Т. 2, № 1. – С. 70–72.

13. Кульков В.Г. Внутреннее трение на фасетированных границах зерен с примесями // Известия ВУЗов. Физика. – 2005. – Т. 48, № 4. – С. 93–94.

14. Кульков В.Г. Диффузионная модель внутреннего трения в нанокристаллическом материале // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. № 3. – С. 43–48.

15. Дешевых В.В., Кульков В.Г., Коротков Л.Н., Степанов Н.Д. Низкочастотное внутреннее трение в ультрамелкозернистой меди // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, вып. 4, Ч. 2. – С. 1885–1886.

16. Кульков В.Г. Внутреннее трение, обусловленное зернограничным перераспределением примеси в нанокристаллическом материале // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2005. – Т. 7, № 4. – С. 406–408.

17. Кульков В.Г. Влияние динамического перераспределения примеси на зернограничное внутреннее трение в нанокристаллических материалах // Письма в Журнал технической физики. – 2005. – Т. 31, № 8. – С. 32–37.

УДК 378.4: 37.013.78

МЕЖДУНАРОДНЫЕ РЕЙТИНГИ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ МИРА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Левинзон С.В., Царькова Н.В.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Калуга, e-mail: svlev34@gmail.com

Настоящий обзор является 1-й частью общего обзора современного состояния международных и национальных рейтингов высших учебных заведений мира, в основном, по техническим наукам. В нем рассмотрены международные рейтинги технически развитых стран мира Европы, Америки, Юго-Восточных стран. Отдельное внимание уделено России и Германии. Рассмотрены положения, касающиеся обобщённых критериев сравнительной оценки рейтингов, основные и дополнительные критерии, а также рейтинговые таблицы по таким основным международным критериям, как QS, ARWU, THE, Webometrics, U-Multirank и дополнительным критериям RankPro, U.S. News, CWTS Leiden, PRSP, RUR. Отмечены их преимущества и недостатки. Показано, что любые рейтинги могут быть только оценочными критериями. Выводы по их применению принимает только пользователь, который и несёт ответственность перед собой и обществом.

Ключевые слова: критерии сравнительной оценки, международные рейтинги вузов, рейтинговые таблицы

INTERNATIONAL RANKINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN THE WORLD. TECHNICAL SCIENCES. THE MODERN STATE

Levinzon S.V., Tsarkova N.V.

Kaluga Branch of the Baumann Moscow State University, Kaluga, e-mail: svlev34@gmail.com

This review is the 1st part of an overall review of the current state of international and national rankings of higher educational institutions in the world, mainly in engineering Sciences. It considers the international ratings technically developed countries of Europe, America, Southeastern Asia. Special attention is paid to Russia and Germany. Reviewed the provisions relating to the generalized comparative evaluation criteria ratings, the main and additional criteria and the rating table on such major international standards as QS, ARWU, THE, Webometrics, U-Multirank and additional criteria RankPro, U.S. News, CWTS Leiden, PRSP, RUR. Their advantages and disadvantages noted. We analyzed the ranking and showed that all the criteria are subjective and can estimated only in the first approximation Only the user accepts ratings conclusions for their application, and only he is responsible to himself and society.

Keywords: comparative evaluation criteria, international ratings of universities, tables of ratings

Международный обобщённый критерий сравнительной оценки. Общие положения

Само собой разумеется, что сравнивать можно только сравнимое с учётом одинаковых или предпочтительных критериев. Правильный выбор критериев играет существенную роль в выборе оптимального решения. Наиболее разработаны методы однокритериальной оптимизации, в большинстве случаев позволяющие получить однозначное решение. В задачах многокритериальной оптимизации лучшее решение выбрать невозможно (за исключением частных случаев), так как при переходе от одного варианта к другому, как правило, улучшаются значения одних критериев, но ухудшаются значения других. Может быть принято компромиссное решение, которое осуществляется введением тех или иных дополнительных ограничений или субъективных предположений. Это основное положение относится и к критериям сравнительной оценки рейтингов высших учебных заведений.

Настоящий обзор состоит из 2 частей и характеризует в кратком изложении современное состояние в области международных и национальных рейтингов технических вузов и университетов мира, имеющих технические кафедры. Вопрос для нас новым не является, что в дальнейшем будет отражено в списке использованных литературных источников [1].

Авторы попробуют ответить вопросы: зачем нужны оценочные критерии в системе высшего образования, почему так резко отличаются критерии оценки вузов различных стран, возможно ли создание универсального критерия и нужен ли он вообще? Будут рассмотрены основные международные и национальные критерии, национальные критерии России, Германии, ряда других стран мира, их особенности и рейтинговые таблицы в историческом плане и по состоянию на конец 2016 года и начало 2017-го [2].

В связи с тем, что тема «о критериях и рейтингах» весьма обширна, мы останавливаемся только на технических университетах и преимущественно близких нам

специальностях – электротехнике и электронике, а также IT-технологиях.

Престиж любой страны в значительной степени определяется развитием различных сфер деятельности, в том числе взаимосвязанных между собой экономической, промышленной, научной и других. Все они в основе имеют высокий профессиональный уровень специалистов, занятых в этих сферах. Для подготовки конкурентоспособных специалистов, в первую очередь, необходимо иметь высокий уровень высшего образования. Высокий образовательный стандарт является фундаментом развития наукоёмких технологий и создания конкурентоспособного в мировом масштабе высшего образования.

От качества высшего образования зависит в значительной степени репутация источников образования – университетов и специализированных вузов. Чем лучше репутация вуза, чем больше у него возможностей удерживать местных и привлекать талантливых иностранных преподавателей, исследователей и студентов, тем выше его способность формирования собственного вклада в развитие той или иной отрасли страны в целом.

Возникла необходимость разработки инструментов сравнения университетов в связи с ростом конкуренции между ними. Одним из таких инструментов и являются рейтинги. При этом необходимо отметить, что международные рейтинги университетов в их современном виде появились сравнительно недавно – с начала настоящего столетия. Так, например, Шанхайский рейтинг (Academic Ranking of World Universities, ARWU), был впервые опубликован в 2003 году, рейтинг британского еженедельника «The Times Higher Education» и агентства «Quacquarelli Symonds« (QS), стал публиковаться с 2004 года. Затем эти рейтинги разделились и с 2010 года появились рейтинги THE и QS.

Рейтинг *Webometrics* (или Ranking Web) разработан Лабораторией Cybermetrics Lab, входящей в состав Национального Исследовательского Совета Испании, являющейся аналогом РАН. Результаты рейтинга публикуются с 2004 года дважды в год. Методика оценки соответствует Берлинским принципам ранжирования высших учебных заведений (Berlin Principles on Ranking of Higher Education Institutions), разработанных и утверждённых Международной экспертной группой по ранжированию (IREG).

Рейтинг *U-Multirank*. Первый выпуск U-Multirank вышел в 2014 году. Это многомерный рейтинг. Он был инициирован Комиссией ЕС в 2009 году и официально принят в начале 2013 года. Представляет собой один их вариантов трём международным рейтингам. Основными разработчиками являются Центр Высшего Образования (CHE) (Германия), Центр Изучения Политики Высшего Образования (CHEPS) (Нидерланды).

Рейтинг *U.S. News* Best Global Universities rankings. Первый выпуск рейтинга был опубликован в 2014 году. Второй выпуск – в 2015 году. Планируется, что данный рейтинг будет ежегодным.

Медиакомпания «U.S. News & World Report» имеет большой опыт в выпуске рейтингов университетов. Она на протяжении более 30 лет ранжировала американские университеты, позволяя определить, какое положение занимают американские университеты в мире.

CWTS Leiden Ranking. Лейденский рейтинг был разработан Центром науки и технологических исследований Лейденского университета (CWTS). Это научный институт и организация, осуществляющая инновационные контрактные исследования, направленные на изучение эффективности научных исследований и их влияния на общество и экономику. Первый рейтинг был опубликован в 2007 году. В нем были представлены результаты ранжирования для 100 европейских университетов с наибольшим числом научных публикаций.

Рейтинг инновационных университетов мира Ройтерс 2015 (The Reuters Top 100 Most Innovative Universities 2015) опубликован в сентябре 2015 года и включает в себя 100 университетов из 14 стран. Цель рейтинга – выявить университеты, осуществляющие максимальный вклад в развитие науки и технологий и наиболее сильно влияющие на мировую экономику. Рейтинг формировался на базе 10 показателей, измеряющих патентную и научно-исследовательскую деятельность университетов.

Требования к рейтингам постоянно уточняются и совершенствуются. Вместе с тем, рейтинги часто подвергаются критике. К основным недостаткам мировых рейтингов можно отнести такие, как несовершенство способов обработки статистических данных, применяемые критерии не всегда обоснованы, нет чёткого распределения между научно-исследовательскими университетами и обычными, преимущество часто отдаётся англоязычным моделям, ориентированным на проведение научно-исследовательских работ и обладающих значительным количеством средств.

Многие из перечисленных недостатков являются спорными, ибо нельзя, например, «бедность» оправдать отсутствием качества образования. Критикуется также интеграль-

ный подход, при котором оценка вузов производится по единому набору показателей с приписываемыми им весовыми коэффициентами, а окончательный рейтинговый результат представляет собой список университетов, где первое место присваивается университету с наибольшим интегральным индексом.

По нашему мнению, именно одинаковый набор показателей с одинаковыми весовыми коэффициентами даёт возможность объективного ранжирования. В случае сравнения по предпочтительным показателям ранжирования они (и их весовые коэффициенты) тоже не должны определяться произвольно. Именно критика и применительная практика способствуют тому, что рейтинги развиваются, методология совершенствуется, появляются новые рейтинги (web – рейтинги, альтернативные рейтинговые системы, например, U-Multirank), увеличивается «количество строк» в рейтинговых таблицах.

Подробно история международных рейтингов изложена в [3], где отмечается, что» Перечисленные выше пять глобальных рейтингов – ARWU, THE, QS, Web и PRSP – выступают в качестве общепризнанных». При этом рейтинг PRSP (Performance Ranking of Scientific Papers for World Universities) используется, в основном, для оценки исследовательской деятельности в части написания статей в престижных журналах.

Обобщённый анализ показывает, что все рейтинги существенно различаются и набором оцениваемых факторов, и системой весовых коэффициентов (табл. 1)

Они не взаимозаменяемы между собой и представляют определённую специализацию по количественным и качественным показателям. Показатели собраны в группы по определённым рейтингам. В таблицу сведены показатели по разделам «Результаты исследований», «Качество образования», «Уровень преподавателей» и ряд других с конкретным значением весовых коэффициентов для рейтингов ARWU,THE, QS и Web.

Таблица 1

Критерии ранжирования университетских рейтингов

Рейтинг	Показатель	Вес, %
1	2	3
Результаты исследований		
ARWU	Число статей, опубликованных в журналах *Nature* и *Science*	20
	Число статей, индексируемых в базах данных *Science Citation Index Expanded* и *Social Sciences Citation Index* (Thomson Reuters)	20
THE	Среднее число цитирований в расчете на одну статью	37,5
	Объем и репутация научно-исследовательских работ	30
	Доход от исследований	2,5
QS	Среднее число цитирований в расчете на одну штатную академическую единицу (по данным базы *Scopus*, Elsevier)	20
Web	Число результатов поиска по сайту вуза научной поисковой системой *Google Scholar* и число цитирований найденных документов	12,5
	Число «ценных» файлов на сайте (число файлов с результатами исследований четырех форматов: PDF, PS, DOC и PPT)	12,5
PRSP (все показатели из баз компании Thomson Reuters)	Число статей за последние 11 лет	10
	Число статей за текущий год	10
	Число цитирований за последние 11 лет	10
	Число цитирований за последние 2 года	10
	Отношение числа цитирований к числу статей за последние 11 лет	10
	Индекс Хирша (*h*-index) статей университета за последние 2 года	20
	Число высокоцитируемых статей за 11 лет	15
	Число статей в высокоцитируемых журналах за последний год	15
Качество образования		
ARWU	Общее число выпускников вуза, получивших Нобелевскую премию или медаль Филдса	10
THE	Оценка преподавания и условия обучения	30
QS	Индекс академической репутации	40
	Отношение численности ППС к числу студентов	20
	Индекс репутации вуза среди работодателей	10

Окончание табл. 1

1	2	3
Уровень преподавателей		
ARWU	Общее число работников вуза, получивших Нобелевскую премию или медаль Филдса	20
	Число часто цитируемых исследователей в 21 предметной области (250* лучших ученых по базе данных *Web of Knowledge*)	20
Web	Число уникальных внешних ссылок на страницы сайта университета, найденных через поисковые системы *Yahoo Search, Live Search* и *Exalead*	50
Академическая производительность		
ARWU	Показатель, определяемый как отношение суммарного числа баллов по всем индикаторам к численности академического персонала, занятого полный рабочий день	10
Международная деятельность		
QS	Доля иностранных преподавателей от общей численности ППС	5
	Доля иностранных студентов в общем контингенте обучающихся	5
Размер		
Web	Число страниц сайта, получаемых в результате поиска системами *Google*, *Yahoo*, *Live Search* и *Exalead*	20

*В разных областях знания число лучших ученых варьирует в районе 250 человек, но не совпадает с этим числом (Thomson Reuters, 2010).

Рейтинг QS. Основные и дополнительные критерии. Рейтинговые таблицы

В основу рейтинга *QS* положено 6 показателей – индикаторов оценки:

– Индекс академической репутации (опрос) 40 %

– Индекс репутации среди работодателей (опрос) 10 %

– Соотношение профессорско-преподавательского состава (ППС) по отношению к численности обучающихся 20 %

– Индекс цитирования научных статей преподавателей по отношению к их численности (база данных Scopus) 20 %

– Доля иностранных преподавателей (по эквиваленту полной ставки) 5 %

– Доля иностранных студентов по отношению к численности обучающихся (программы полного цикла обучения) 5 %

Ежегодно в исследовании оцениваются свыше 2,5 тысяч высших учебных заведений по всему миру. По его итогам составляется рейтинг 500 лучших университетов мира.

Уровень достижений университетов оценивается на основании результатов комбинации статистического анализа деятельности учебных заведений, а также данных глобального экспертного опроса представителей международного академического сообщества и работодателей, которые высказывают свои мнения об университетах [4–6].

В табл. 2 представлены сведения по 10 университетам. В лидирующих позициях рейтинга – Гарвард, Кембридж, Стэнфорд, Калтех.

Таблица 2

Top-10 рейтинга QS за 2014–2015 гг.

Ранг 2015 г.	Ранг 2014 г.		Страна
1	1	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	USA
2	4	Harvard University	USA
3	2	University of Cambridge	UK
3	7	Stanford University	USA
5	8	California Institute of Technology (Caltech)	USA
6	5	University of Oxford	UK
7	5	University College London	UK
8	2	Imperial College London	UK
9	12	ETH Zurich – Swiss Federal Institute of Technology	Switzerland
10	11	University of Chicago	USA

По сведениям [4] в 2015 году, как и год назад, в рейтинг вошел 21 российский университет, из которых семеро повысили свои позиции.

МГУ имени М.В. Ломоносова, возглавляющий список российских вузов, в этом году, как и в прошлом, поднялся на шесть строчек и занял 108-е место. Он остается единственным российским университетом, вошедшим в топ-200 лучших университетов мира.

Распределение коэффициентов по отраслям науки приведено в [7].Для инженерных наук принято следующее распределение: академическая репутация – 40 %,репутация среди работодателей – 30 %, индекс цитирования на статью – 15 %, h-индекс – 15 %

Рейтинг ведущих технических университетов по версии QS(первые 10университетов) представлен в табл. 3 [7].

В первую десятку вошли университеты из США, Великобритании и Сингапура.

Если рассматривать более подробно, хотя бы в пределах Топ-25,то можно видеть, что география стран увеличивается, но при этом не сильно расширяется. Сюда входят дополнительно университеты таких стран, как Швейцария, Австралия, Франция, Канада и Китай.

РейтингQS 50 университетов по специальности «Электротехника и электроника» представлен в [8]. Первая десятка приведена в табл. 4

Таблица 3

Рейтинг QS технических университетов мира

Ранг	Университет	Балл	Академич. репутация	Мнение работодателей	Индекс цитирования
1	Massachusetts Institute of Technology	98,1	100	97,5	99,4
2	Stanford University	95,7	94,5	92,9	100
3	University of Cambridge	93,7	90,8	100	92,8
4	University of California, Berkeley	91,6	91,7	87,6	92,8
5	Imperial College London	90	89,1	91,6	88,6
6	University of Michigan	89,6	98,3	79,5	92
7	Harvard University	89,5	81,4	98,1	84,8
8	National University of Singapore	89,4	84,3	93,7	92,4
9	University of Oxford	89,4	83,8	98,9	86,3
10	Georgia Institute of Technology	86,8	86,6	84,2	93,5

Таблица 4

Рейтинг QS по специальности «Электротехника и электроника»

Ранг	Университет	Общий балл
1	Massachusetts Institute of Technology	97.9
2	Stanford University	95.0
3	University of California, Berkeley	93.0
4	University of Cambridge	91.3
5	University of California, Los Angeles	91.1
6	National University of Singapore	90.7
7	ETH Zurich – Swiss Federal Institute of Technology	90.1
8	Nanyang Technological University, Singapore	89.4
9	Harvard University	88.8
10	Imperial College London	88.7

Таблица 5

Рейтинг QS российских вузов по техническим специальностям

Ранг	Университет	Балл	Академич. репутация	Мнение работодателей	Индекс цитирования
108	МГУ им М.В. Ломоносова	62,1		69,3	
258	СПбГУ	40,1		31,1	
291	Новосибирский госуниверситет	37,3		34.2	
306	МГТУ им. Н.Э. Баумана	36,3		50.4	
350	Московский физико-технический институт (ФизТех)	33,4		0	
377	Томский госуниверситет	31,4		0	
400	Томский политехнический университет	30,3		0	
401	МИФИ	0		0	
411	СПбПУ им. Петра Великого	0			

В тех случаях, где в таблице проставлен «0», означает, что точных данных не имеется.

Обобщённые показатели Российских вузов в мировом рейтинге QS за 10 лет представлены на рис. 1. Приведённые данные достаточно подробно характеризуют динамику изменения показателей и мест в рейтинге.

Представлен довольно обширный материал, позволяющий проследить динамику изменения положения вузов России в рейтинге QS. Рассмотрены 3 категории – по количеству студентов, по уровню исследовательской деятельности и по возрасту. Каждая категория подразделяется на 5 подтипов, начиная от самых высоких показателей до показателя «отсутствие данных». Причём, каждый из них имеет количественный диапазон, характеризующий тот или иной показатель.

Следует отметить, что большинство перечисленных вузов имеют технические направления. Сюда в первую очередь следует отнести МГТУ им. Н.Э.Баумана, СПБ политехнический университет, Новосибирский и Томский технические университеты. К сожалению, отсутсвуют расширенные сведения по таким университетам, как Московский энергетический университет, ЛЭТИ и другие вузы электротехнического профиля.

Наглядно видно, что по многим университетам отсутствуют сведения за период 2006–2011 гг. По ним динамику проследить труднее.

В целом, подобные обобщённые сведения помогают в определённой степени корректировать и усовершенствовать работу в «рейтинговом направлении».

Состояние дел в рейтинге QS по техничемким университетам Германии определяются, исходя из сведений, изложенных в [9–11]. Места лучших технических университетов Германии в соответствии с общим международным рейтингом QS распределились в соответствии с табл. 6 [9].

Таблица 6

Рейтинг QS университетов Германии, имеющих технические специальности

QS рейтинг	Университет
60	Technical University of Munich
68	Ludwig-Maximilians-Universität München
72	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
98	KIT, Karlsruhe Institute of Technology
121	Humboldt-Universität zu Berlin
123	Freie Universität Berlin
146	RWTH Aachen University
163	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
164	Technische Universität Berlin (TU Berlin)
167	Eberhard Karls Universität Tübingen
177	Georg-August-University Goettingen
210	Technische Universität Dresden
231	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
247	Technische Universität Darmstadt

Российские вузы в мировом рейтинге QS

Динамика движения с 2006 по 2016 годы

SIZE	Категории по количеству студентов	RES	Категории по уровню исследовательской деятельности	AGE	Категории по возрасту
XL	⩾ 30 000 – очень большой	VH	очень высокий	5	⩾ 100 лет – исторический
L	⩾ 12 000 – большой	HI	высокий	4	⩾ 50 лет – зрелый
M	⩾ 5000 – средний	MD	умеренный	3	> 25 лет – признанный
S	< 5000 – малый	LO	ограниченный	2	⩾ 10 лет – молодой
НД	нет данных	НД	нет данных	1	< 10 лет – новый

	НАЗВАНИЕ ВУЗА	SIZE	RES	AGE	МЕСТА В РЕЙТИНГЕ 2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова	XL	VH	5	93	231	183	101	93	112	116	120	114	108	108
2	Санкт-Петербургский государственный университет	L	HI	5	164	239	224	168	210	251	253	240	233	256	258
3	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет	M	VH	4	346	440	401-500	312	375	400	371	352	328	317	291
4	Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	L	HI	5						379	352	334	322	338	306
5	Московский физико-технический институт (государственный университет)	M	VH	4								441-450	411-420	436	350
6	Московский государственный институт международных отношений (университет)	M	LO	4				601+	601+	389	367	386	399	397	350
7	Национальный исследовательский Томский государственный университет	L	VH	5	296	466	401-500	401-500	401-450	451-500	551-600	551-600	491-500	484	377
8	Национальный исследовательский Томский политехнический университет	L	VH	5						551-600	601+	551-600	501-550	488	400
9	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	M	VH	4									481-490	515	401-410
10	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	L	VH	2				501-600	451-500	551-600	501-550	501-550	501-550	507	411-420
11	Санкт-Петербургский государственный политехнический университет	L	VH	5								451-460	481-490	476	411-420
12	Казанский (Приволжский) федеральный университет	L	VH	5	476	528	501+	501-600	501-550	601+	601+	601-650	551-600	574	501-550
13	Дальневосточный федеральный университет	L	HI	5							601+	701+	701+	695	551-600
14	Национальный исследовательский Саратовский государственный университет	M	HI	5									601-650	639	551-600
15	Южный федеральный университет	L	HI	5								601-650	601-650	628	551-600
16	Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	M	HI	4									701+	703	601-650
17	Российский университет дружбы народов	L	MD	4						551-600	501-550	491-500	471-480	636	601-650
18	Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина	L	VH	4				601+	501-550	451-500	451-500	501-550	551-600	621	601-650
19	Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского	L	HI	5							601+	701+	701+	701+	701+
20	Новосибирский государственный технический университет	L	HI	4											701+
21	Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова	L	LO	5							601+	701+	701+	701+	701+
22	Воронежский государственный университет	L	MD	4								701+	701+	701+	701+

Рис. 1. Показатели вузов России за период 206–2016 гг. по версии QS

Сведения по лучшим университетам Германии 2016 года по специальностям «Электротехника» и «Информатика» по версии QS приведены в [10] и [11] соответственно.

В октябре 2015 года для университетов развивающихся стран Европы и стран Центральной Азии был опубликован модифицированный рейтинг QS WUR (QS University Rankings: EECA 2015), в основе составления которого они оцениваются по 9 показателям.

– Академическая репутация (30%).

– Репутация среди работодателей (20%).

– Соотношение численности ППС и студентов (15%).

– Web-влияние (результаты Webometrics) (10%).

– Число статей на одного преподавателя (10%) .

– Доля преподавателей, обладающих ученой степенью (5%).

– Среднее число цитирований на одну статью (5%).

– Доля иностранных преподавателей в ППС (2.5%).

– Доля студентов-иностранцев в общем числе студентов (2.5%).

Всего в список вошли150 университетов из 20 стран. По числу университетов в рейтинге лидируют Россия (48 вузов), Турция (16), Казахстан (14) и Польша (12). Перечисленные страны дают некоторое представление о положении дел в этом специфическом рейтинге. Ниже в таблице 7 представлены позиции российских университетов, имеющих техническое направление и вошедших в топ-50 рейтинга.

Кроме перечисленных выше, в пределах рейтинга QS существуют и специализированные рейтинги, такие, как рейтинг молодых университетов QS 2015 (QS University Rankings: Top 50 Under 50 2015) и рейтинг систем высшего образования QS 2016 (QS Higher Education System Strength Rankings 2016).

В первом случае определяются лучшие университеты мира, основанные в течение последних лет. Необходимые данные берутся из QS-WUR 2015/16. Индикаторы для расчета позиций университетов в рейтинге QS Top 50 Under 50 полностью соответствуют индикаторам рейтинга мировых университетов QS [5, 6]. Все они имеют технические направления.

Рейтинг QS Higher Education System Strength Rankings 2016 является новым и появился только в мае 2016 года. Он базируется на четырёх показателях с равными весовыми коэффициентами: сила системы (System strength), доступность (Access), ведущий университет (Flagship institution), экономические условия (Economic context) [12].

В рейтинге представлены системы высшего образования 50 стран. На лидирующих позициях США, Великобритания, Германия, Австралия и Канада. 25стран из рейтинга Тор-50 приведены в [12]. . Германия находится в 3-й строке.

Россия заняла 26-ю позицию рейтинга в общем зачёте, а по отдельным показателям рейтинговые места распределились в диапазоне от 16-го до 37 места.

Обобщённый рейтинг QS 2016 Топ-202 по странам приведен в [12]. Рейтинг ведущих технических университетов мира

Таблица 7

Рейтинги российских вузов в QS EECA 2015, 2014

Российские университеты в топ-50 рейтинга QS EECA			
2015	2014	Изменения	Университет
1	1	0	МГУ им М.В. Ломоносова
2	2	0	Новосибирский госуниверситет
5	7	+2	СПбГУ
10	17	+7	Московский физико-технический институт (ФизТех)
22	34	+12	МИФИ
23	21	-2	МГТУ им. Н.Э. Баумана
35	39	+4	СПбПУ им. Петра Великого
43	45	+2	Томский госуниверситет

Топ-300 – в [13]. Обобщённый рейтинг вузов России и стран СНГ – в [14], полная картина российских вузов в мировом рейтинге QS показана в [15].

Рейтинг ARWU. Основные и дополнительные критерии. Рейтинговые таблицы

Сначала был разработан общий академический рейтинг ARWU, с 2007 года ежегодно выпускаются отраслевые рейтинги, а с 2009 года – предметные рейтинги [16]. Т.е. фактически с этого времени рейтинг ARWU был защищен авторским правом. [1].

В рейтинге ARWU ранжируется 1200 университетов, 500 лучших публикуются [17]. В нём используется 6 индикаторов: число выпускников-лауреатов Нобелевской или Филдсовской премии (Alumni), число сотрудников – лауреатов Нобелевской или Филдсовской премии (Award), число высоко – цитируемых исследователей (HiCi) с высоким рейтингом, число статей, опубликованных в журналах Nature и Science (N&S), число статей, проиндексированных в Science Citation Index – Expanded и Social Sciences Citation Index (PUB), взвешенный показатель предыдущих индикаторов в расчёте на одного сотрудника (PCP). Наивысшая оценка 100 баллов. Дальнейшее – по нисходящей. Сумма всех показателей составляет 100 %.

Весовые коэффициенты и их процентное соотношение представлены в табл. 8.

Ссылки на дополнительные источники информации по перечисленным выше критериям приведены в [17]. Всего представлено 5 таблиц по сотне участников [18].

За 2015 год США представлены в Топ-20 16 университетами, в Топ-100 – 52. Соответственно: Германия в Топ-100 – четырьмя, Россия – одним.

Рейтинг технических университетов Top-11 приведен в табл. 9 [19].

Таблица 8

Весовые коэффициента и показатели в рейтинге ARWU

Критерий	Индикатор	Код	Вес, %
Качество образования	Число выпускников-лауреатов Нобелевской или Филдсовской премии	Alumni	10
Квалификация сотрудников	Число сотрудников – лауреатов Нобелевской или Филдсовской премии.	Award	20
	Число высоко-цитируемых исследователей в 21 предметной области	HiCi	20
Достижения в области научных исследований	Число статей, опубликованных в журналах *Nature* и *Science*	N&S	20
	Число статей, проиндексированных в Science Citatation Index – Expanded и Social Sciences Citatation Index	PUB	20
Общая производительность	Взвешенный показатель предыдущих параметров в расчёте на одного сотрудника	PCP	10

Таблица 9

Технические университеты в рейтинге ARWU по основным критериям

Рейтинг	Университет	Балл	Индекс цитирования
1	Massachusetts Institute of Technology	100	80,4
2	Nanyang Technological University, Singapore	92,9	76,7
2	Stanford University	92,9	71,5
4	Tsinghua University, China		
5	King Abdulaziz University, Saudisc Arabea		
6	National University of Singapore		
7	Imperial College London		
8	University of California, Berkeley		
9	Harbin Institute of Technology		
10	University of Texas, Austin		
11	Swiss Federal Institute of Technology		

Для российских университетов обобщённое количество баллов и место в рейтинге приведено в [20]. Более подробные сведения по рейтингу МГУ и СП(б)ГУ в ARWU за период 2014–2015 гг приведены в [4]. По университетам России – в табл. 10, 11.

Таблица 10

Университеты России по обобщённым показателям рейтинга ARWU

№	Университет	Позиция в общем рейтинге ARWU				
		2012	2013	2014	2015	2016
1	МГУ им М.В. Ломоносова	80	79	84	86	87
2	СПбГУ	401–500	301–400	301–400	301–400	301–400
3	Новосибирский госуниверситет	–	–	–	–	401–500

Таблица 11

Вузы России в рейтинге ARWU

№	Университет РФ	Предметные рейтинги ARWU	
		Material Science & Engineering	Electrical&Electronic Engineering
		2016	2016
1	МГУ им М.В. Ломоносова	401–600	–
1	Уфимский авиационный технический университет	401–600	–
	МИФИ	–	301–400

Для российских вузов, не вошедших в опубликованный рейтинговый список топ-500 получены следующие результаты: Московский физико-технический институт (группа 501–600), Новосибирский государственный университет (501 – 600), Санкт-Петербургский государственный технологический институт (901–1000), Уральский федеральный университет (901–1000) и Казанский федеральный университет (901–1000) [18, 21].

Ниже приводятся сведения по всем показателям ARWU и оценка по каждому показателю первой пятерки университетов, а также Германии и России по состоянию на 2015. Рейтинги Топ-5 и университетов Германии и России по всем показателям ARWU приведены в [22]. Пример для одного из показателей представлен в табл. 12.

Таблица 12

Рейтинги Топ-5 и университетов Германии и России ARWU (по Alumni)

Рейтинг	Университет	Рейтинг в стране	Общая оценка	Оценка по Alumni
1	Harvard University	1	100,0	100,0
2	Stanford University	2	73,3	70,1
3	Massachusetts Institute of Technology	3	70,4	73,1
4	University of California, Berkeley	4	69,6	65,6
5	University of Cambridge	1	68,8	55,6
46	University of Heidelberg	1	32,2	29,4
51	Technical University of Munich	2	30,5	23,2
52	University of Munich	3	30,3	28,9
86	МГУ им М.В. Ломоносова	1	25,3	7,7

Дополнительные сведения о российских университетах с техническими направлениями содержатся в [19–20].

Рейтинг THE. Основные и дополнительные критерии. Рейтинговые таблицы

В основу анализа рейтинга THE положено 13 показателей. Главными критериями являются показатели, приведенные в табл. 13. Все оценки количественных и качественных показателей нормированы и приведены к 100-балльной шкале [23].

Увеличилось количество вузов Германии: у нее 20 университетов в топ-200 (в выпуске за 2014 год – 12).

Университеты России в обобщённом рейтинге THE отсутствуют в рейтинге 1–200, кроме одного – МГУ. Остальные 12 университетов – в пределах 201–800

Репутационный рейтинг THE, Топ-30, представлен в [24]. Университеты были расположены по рангу в соответствии с полученными данными относительно их репутации в области их научно-исследовательской и образовательной деятельности. При этом весовые коэффициенты, приписываемые научно-исследовательской и образовательной работе имеют соотношение 2:1. В 2016 году три российских университета вошли в рейтинг: МГУ имени М.В.Ломоносова – 30-я позиция (в 2015 году – 25 место), СПбГУ – в группе 81–90 (в 2015 году – 71–80) и МФТИ, впервые вошедший в 2017 году в группу

Таблица 13

Показатели и вес для расчёта рейтинга THE

Показатель	Вес %
Академическая репутация университета, включая научную деятельность и качество образования (данные глобального экспертного опроса представителей международного академического сообщества).	15,0
Научная репутация университета в определённых областях (данные глобального экспертного опроса	19,5
Общая цитируемость научных публикаций (данные анализа 12 тысяч научных журналов за пятилетний период)	32,5
Отношение опубликованных научных статей к численности ППС (данные анализа 12 тысяч научных журналов за пятилетний период)	4,5
Объём финансирования исследовательской деятельности университета по отношению к численности ППС (показатель нормализуется по паритету покупательной способности, исходя из экономики конкретной страны)	5,25
Объём финансирования сторонними компаниями исследовательской деятельности университета по отношению к численности ППС	5,5
Отношение государственного финансирования исследовательской деятельности к общему исследовательскому бюджету университета	0,75
Отношение ППС к общей численности обучающихся	4,5
Отношение количества иностранных представителей ППС к численности местных коллег	3,0
Отношение количества иностранных студентов к общей численности обучающихся.	2,0
Отношение защищённых диссертаций (Ph.D) к численности ППС	6,0 %
Отношение защищённых диссертаций (Ph.D) к численности бакалавров, идущих на звание магистра	2,25 %
Средний размер вознаграждения представителя преподавательского состава (показатель нормализуется по паритету покупательной способности, исходя из экономики конкретной страны)	2,25 %

Обобщённый рейтинг по 10 ведущим университетам мира приведен в [23].

12-й выпуск рейтинга был опубликован в сентябре 2015 года. В него включено 800 университетов из 70 стран (в выпуске за 2014 год – 400 университетов из 41 страны). Университеты США занимают 14 позиций в топ-20 рейтинга и 26 – в топ-50. Всего в рейтинге (топ-800) 147 вузов этой страны.

91–100. Всего в рейтинге 2016 года представлены 100 университетов из 18 стран (в 2015 году – из 21 страны).

Рейтинги молодых университетов THE 2016 по странам, основанных в течение последних лет, представлены в [24–26]. Обращает на себя внимание, что много университетов, которым не более тридцати лет, – из Юго-Восточной Азии.

Наибольшее представительство в рейтинге молодых университетов THE 2016 принадлежит странам, перечисленным в табл. 14.

Распределение университетов по странам в THE-2016 в Европе представлено в [26–28].

В этом распределении имеются результаты 22 стран из 200.

Рейтинг лучших университетов мира по обобщённым показателям по странам (Топ-10) 2016 -2017 представлен в табл. 15 [25, 26].

Преобладают университеты США, Великобритании и Швейцарии (9-е место в рейтинге).

Рейтинг технических университетов мира по отдельным показателям (Топ-10) приведен в табл. 16 [27].

Таблица 14

Распределение молодых университетов THE-2016 по странам

Страна	Количество университетов
Великобритания	25
Австралия	19
Франция	15
Германия	10
Испания	10
Италия	6
Тайвань	5
США	5
Канада	4
Южная Корея	4

Таблица 15

Лучшие университеты мира THE 2016–2017

Рейтинг	Университет
1	University of Oxford
2	California Institute of Technology
3	Stanford University
4	University of Cambridge
5	Massachusetts Institute of Technology
6	Harvard University
7	Princeton University
8	Imperial College London
9	ETH Zurich – Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Таблица 16

Рейтинг THE по отдельным показателям. Технические университеты

Ранг	Университет	Балл	Академич. репутация	Науч. репутация	Цитирование
1	University of Oxford	95	89,6	99,1	99,2
2	California Institute of Technology	94,3	95,5	95,7	99,8
3	Stanford University	93,8	92,6	95,9	99,9
4	University of Cambridge	93,6	90,6	97,2	96,8
5	Massachusetts Institute of Technology	93,4	90,3	92,3	99,9
6	Harvard University	92,7	87,5	98,3	99,7
7	Princeton University	90,2	89,5	88,4	99,2
8	Imperial College London	90	86,4	86,6	97,3
9	Swiss Institute of Technology	89,3	81,5	93,7	92,5
10	University of California, Berkeley	88,9	82,4	96,1	99,8

Европейский рейтинг технических университетов Европы, Top 30, с отдельным выделением таких стран, как Германия и Россия, представлен в табл. 17 [28].

Таблица 17

Рейтинг технических университетов Европы по странам

Позиция	Университет
1	University of Oxford
2	University of Cambridge
3	Imperial College London
4	ETH Zurich – Swiss Federal Institute of Technology Zurich
5	University College London
10	LMU Munich
11	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
12	KU Leuven
13	Heidelberg University
14	Wageningen University and Research Center
15	Humboldt University of Berlin
16	Technical University of Munich
26	Free University of Berlin
30	University of Tübingen
79	Lomonosov Moscow State University

А по обобщённому показателю выделенные страны представлены ниже.

57	RWTH Aachen University GER 63
61	Technical University of Berlin GER 62
108	TU Dresden GER 53,5
118	University of Hamburg GER 52
125	Lomonosov Moscow State University RU 51,5
129	University of Duisburg-Essen GER 50,9

По отраслям науки университеты России в разделах «Физические науки» и «Инжиниринг и технологии» заняли места, как показано в [28].

В рейтинге «Физические науки» присутствуют только МИФИ, МГУ имени М.В. Ломоносова и Новосибирский государственный университет. В рейтинге «Инжиниринг и технологии» присутствует только МГУ (65-я позиция).

Обобщённые показатели российских технических университетов и университетов общего профиля, имеющих технические направления, по версиям ARWU,QS и THE за период 2012–2016 гг. приведены на рис. 2 [29, 30].

Рейтинг Webometrics (Ranking Web). Основные и дополнительные критерии

Рейтинг Webometrics,процесс его составления, существенным образом отличается от рассмотренных ранее рейтингов. С помощью этого рейтинга вузы сравниваются по их официальным интернет-сайтам. При этом составители – Cybermetrics Lab, базирующаяся в Испании, -интерпретируют рейтинг Webometrics как оценку результатов научно-исследовательской деятельности лучших вузов мира. Поэтому публикация рейтинга означает обеспечение исследователей по всему миру дополнительной мотивацией публиковать в Сети больше трудов лучшего содержания, делать их доступными для своих коллег независимо от места их нахождения [31].

№	Название вуза РФ	Позиция в общем рейтинге ARNW					Позиция в общем рейтинге QS					Позиция в общем рейтинге THE			
		2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014/15	2015/16	2016/17	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-16
1	Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова	80	79	84	86	87	116	120	114	108	108	201-225	226-250	196	161
2	Санкт-Петербургский государственный университет	401-500	301-400	301-400	301-400	301-400	253	240	233	256	258				401-500
3	Московский государственный технический университет им.Баумана						352	334	322	338	306				501-600
4	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ)					401-500	371	352	328	317	291			301-350	401-500
5	Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации						367	386	399	397	350				
6	Московский физико-технический институт (государственный университет) (МФТИ)							441-450	411-420	431-440	350				501-600
7	Российский университет дружбы народов						501-550	491-500	471-480	601-650	601-650				
8	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (МИФИ)								481-490	501-550	401-410	226-250			251-300
9	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого							451-460	481-490	471-480	411-420				201-250
10	Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ)						551-600	551-600	491-500	481-490	377				601-800
11	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (ВШЭ)						501-550	501-550	501-550	501-550	411-420				
12	Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ)						601+	551-600	501-550	481-490	400				251-300
13	Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ)						601+	601-650	551-600	551-600	501-550				301-350
14	Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ)						451-500	501-550	551-600	601-650	601-650				601-800
15	Национальный исследовательский Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского								601-650	601-650	551-600				

Рис. 2. Обобщённые показатели Российских вузов за период 2012–2016 гг.

Лаборатория Cybermetrics Lab входит в состав Национального Исследовательского Совета Испании (National Research Council- CSIC), самой большой испанской исследовательской организации (аналог – РАН РФ). Рейтинг выходит два раза в год: в конце января и в конце июля. Всего в рейтинге ранжируется около 25000 университетов мира. В опубликованный рейтинг входит 12000 университетов. В рейтинге оценивается представительство университетов в глобальном интернет – пространстве.

Рейтинг Webometrics составляется на основе четырех показателей. При этом весовые коэффициенты показателей существенно различаются: показатель Visibility в 4 раза важнее, чем показатели Rich Files и Scholar. Основные параметры этих показателей приведены в [31, 32].

Особенностью данного рейтинга является то, что показатели в целом соответствуют содержательной интерпретации рейтинга (если учитывать сравнение качества официальных интернет-сайтов вузов); значения показателей легко собираются по всей совокупности исследуемых вузов. Вместе с тем, показатели достаточно субъективны по способу сбора данных: круг поисковых систем и анализируемых данных определяется исследователями.

Основным недостатком рейтингаWeb является субъективность собранных данных, которая обусловливает субъективность полученных результатов. Как и в других глобальных рейтингах, составители этого рейтинга для получения итогового значения по вузу используют классическую свертку. При этом складываются не количественные значений показателей, а ранговые, т.е. суммируются места конкретного вуза по каждому из четырех показателей рейтинга.

Формула подсчета итогового значения в рейтинге Webometrics представлена в [31]. На основе сравнения значений показателя Q по всей совокупности исследуемых вузов

составляется их ранжирование, в котором каждому вузу присваивают определенное место. Если несколько вузов имеют одинаковое значение показателя, им присваивается одинаковый ранг. В итоговую версию рейтинга Webometrics включаются около 4000 вузов мира. При этом число анализируемых вузов каждый раз возрастает. В презентационный файл рейтинга включаются следующие позиции: ранг вуза, его название, страна, ранговые значения четырех показателей рейтинга.

Динамика рейтинга за период 2007–2010 гг. достаточно наглядно представлена в таблице по странам мира в [32]. вузы России за этот период представлены в [32]. По сведениям на февраль 2016 года Top15 рейтинга Webometrics по техническим университетам мира приведены в [33]. Можно проследить полугодовое изменение рейтинга 07.2015–02.2016 для университетов России с учётом изменения ранга, как в стране, так и в мире [33]. В 2016 году 7 российских университетов вошли в рейтинг top-1000. Их местоположение в мире показано в таблице 18 [34]. Подробнее о динамике изменения рейтинга Web в [35–37]. Самые свежие данные (февраль 2017 года) представлены в [38] по Европе. Аналогичные данные по США представлены в табл. 19 [39]. Данные по России за 2016 год представлены табл. 20 [40].

Таблица 18

Рейтинг Web 02.2017. Европа. Top15

ranking	World Rank	University	Det.	Country	Presence Rank*	Impact Rank*	Openness Rank*	Excellence Rank*
1	8	University of Oxford	»		10	16	10	5
2	13	University of Cambridge	»		41	17	9	10
3	20	University College London	»		93	44	8	9
4	30	Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich / Swiss Federal Institute of Technology Zurich	»		25	39	123	32
5	43	University of Edinburgh	»		106	52	58	54
6	60	Imperial College London	»		439	155	23	16
7	69	Utrecht University / Universiteit Utrecht	»		152	130	135	43
8	71	Catholic University of Leuven	»		147	136	80	44
9	72	University of Manchester	»		315	121	78	45
10	73	École Polytechnique Fédérale de Lausanne	»		224	112	20	80
11	79	University of Amsterdam / Universiteit van Amsterdam	»		233	135	176	51
12	83	University of Oslo / Universitetet i Oslo	»		26	95	266	125
13	84	University of Copenhagen / Københavns Universitet	»		109	183	113	55
14	85	King's College London	»		356	169	47	53
15	86	Ruprecht Karls Universität Heidelberg	»		66	156	233	63

Таблица 19

Рейтинг Web 02.2017. США. Top10

ranking	World Rank	University	Det.	Country	Presence Rank*	Impact Rank*	Openness Rank*	Excellence Rank*
1	1	Harvard University	»		1	2	1	1
2	2	Stanford University	»		3	3	3	3
3	3	Massachusetts Institute of Technology	»		2	1	6	11
4	4	University of California Berkeley	»		17	4	4	13
5	5	University of Michigan	»		8	7	7	4
6	6	University of Washington	»		33	6	25	6
7	7	Cornell University	»		4	5	35	21
8	9	Columbia University New York	»		31	8	12	14
9	10	(2) Johns Hopkins University	»		44	36	2	2
10	11	University of California Los Angeles UCLA	»		108	12	19	7

Таблица 20

Российские университеты в рейтинге 2016

ranking	World Rank	University	Det.	Presence Rank*	Impact Rank*	Openness Rank*	Excellence Rank*
1	216	Lomonosov Moscow State University / Московский государственный университет М В Ломоносова	»	86	163	795	315
2	526	Saint Petersburg State University / Санкт Петербургский государственный университет	»	300	449	1228	752
3	548	Novosibirsk State University / Новосибирский государственный университет	»	854	694	188	772
4	699	National Research University Higher School of Economics / Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики	»	177	578	689	1392
5	802	National Nuclear Research University (Moscow State Engineering Physics Institute) / Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ	»	1008	1043	1709	848
6	836	ITMO University / Университет ИТМО	»	957	745	1178	1316
7	871	Moscow Institute of Physics and Technology / Московский физико-технический институт государственный университет	»	697	1110	1623	1038

Для университетов России сведения в Top-2000, обобщённые данные, приведены в [40].

В заключение рассмотрим положение университетов Германии и России в рейтинге Top-100 Европы по данным за 2016 год. [41]. В целом, в Top 100 Европы 17 университетов Германии и 1 университет России.

Рейтинг U-Multirank. Основные и дополнительные критерии. Рейтинговые таблицы

В большинстве рассмотренных выше рейтинговых систем особая значимость придается научно-исследовательской работе вузов. Т.е. преимущества получают богатые, ориентированные на научно-исследователь-

скую работу университеты. Многомерный рейтинг U-Multirank исходит из других соображений.

Система этого нового рейтинга была принята в январе 2013 г. в Дублине Европейским Союзом в качестве альтернативы рассмотренным ранее рейтинговым системам. Предполагалось, что она станет новым и более развитым инструментом оценки университетов всего мира. В ней количество показателей должно быть расширено. Кроме того, этот рейтинг должен предоставлять пользователям четкую информацию о разных направлениях деятельности учебных заведений [42].

В реализации проекта приняли участие специалисты из германского Centre for Higher Education (CHE) и нидерландского Center for Higher Education Policy Studies (CHEPS). При составлении рейтинга использовались статистические данные, предоставленные как вузами, так и студентами, мнения которых были учтены.

В новом рейтинге особое внимание было уделено условиям функционирования вузов, учитывающих разнообразие высших учебных заведений; поэтому он получился многомерным и не сводимым, как правило (по некоторым странам имеются исключения. Например, в России, о чём будет сказано ниже), к единому количественному показателю. Он предлагал ориентацию на пользователя.

В рейтинге U-Multirank нет таблиц, университеты – участники не выстроены в ряд в зависимости от своей «значимости». Пользователь самостоятельно сравнивает между собой вузы, интересуясь наиболее важными для него характеристиками, или сравнивает предлагаемые образовательные программы.

Основные характеристики и направления по этому рейтингу представлены в табл. 21 [43].

Первоначально в рейтинге было 29 показателей, затем 30. В настоящее время университеты сравниваются по 31 показателю. Они объединены в пять категорий: научно-исследовательская деятельность, качество преподавания, международная направленность, трансферт знаний из науки в бизнес и сотрудничество с фирмами в регионе.

Индикаторы U-Multirank основаны на различных источниках данных и способах сбора информации: данные, предоставляемые университетами, опрос студентов, библиометрические и патентные данные. Используются три типа индикаторов: рейтинговые (основанные на общеуниверситетских и предметных показателях), основные характеристики университетов (Mapping Indicators) и дополнительные индикаторы, которые отражают такие характеристики университета, как например, количество научных публикаций, уровень безработицы выпускников и т.п.

В первом выпуске рейтинга блоков по специальностям было всего несколько: машиностроение, электротехника, экономика и физика. В дальнейшем список вузов и специальностей расширялся. В2015 году к ним добавились психология, информатика и медицина[44].

Так как рейтинг U-Multirank использует большое количество показателей, то у университетов есть возможность выйти в лучшие по нескольким из них. Например, Гарвардский университет и Массачусетский технологический институт демонстрируют лучшие результаты по числу научных публикаций и патентов. А по показателю совместных публикаций с производящими фирмами в лидеры выходит немецкий Технологический институт Ройтлинген. Лучшие результаты по участию студентов в программах международного обмена в бизнес школах,

Таблица 21

Направления и характеристики по рейтингу U-Multirank

Направления	Индикаторы
Преподавание и обучение	Расходы на преподавание
	Доля присуждённых степеней магистров и PhD
	Количество предметных областей образовательных программ университета
	Уровень образовательных программ (бакалавриат, магистратура, аспирантура)
Исследования	Расходы на исследования
Передача знаний	Доход из внебюджетных источников
Региональное влияние	Доля поступивших на программы бакалавриата из региона, в котором находится университет
Общие индикаторы	Размер университета (количество обучающихся)
	Форма собственности университета
	Возраст университета

таких как IESEG School of Management во Франции и т.д.

Различные показатели «условного превосходства» можно обнаружить в университетах всех типов. Концепция поиска зависит от того, что вы ищете. Нет идеальных университетов, лучших по всем показателям. По данным [45] лишь около 8% вузов демонстрируют наивысшие оценки по большому числу показателей (более чем 10 оценок 'A')». U-Multirank показывает, что более 50% вузов имеют от одной до пяти оценок 'A' («очень хорошо») по определенным показателям.

Кроме перечисленных ранее особенностей, U-Multirank учитывает разнообразие университетов, сравнивает подобное с подобным (университеты, имеющие схожий набор характеристик), не создает одномерных (интегрированных) рейтингов [46]. Вычисление рейтинговых групп индикаторов происходит как показано в [47, 48].

В рейтинге U-Multirank университеты подразделяются на пять групп эффективности (от «очень хорошо» до «слабо») для каждого из индикаторов.

Более подробно о методологии разбиения нарейтинговые группы приведено в [49]. Дополнительные сведения можно найти в [50–51].

Изучая рейтинговые таблицы, можно увидеть, что всего небольшое количество университетов обладают выдающимися показателями по многим критериям, а большинство вузов имеют сильные стороны в какой-либо определенной сфере.

В конечном итоге, результаты обработки данных предоставляются в качестве буквенных оценок (A – очень хорошо, B – хорошо, C – средне, D – ниже среднего, E – слабо) по каждому из 31 показателя. Обобщённая характеристика рейтинга по всем параметрам и видам использования приведена в [52]. Общая методология – в [53].

Количество участников в мире, использующих рассматриваемый рейтинг, увеличивается с каждым годом. По состоянию на 2017 год оно составляло 320 всех участников.

Из них 180 в Европе (В Германии 19, в Росссии 12), 98 в Азии, 29 в Северной Америке [54].

В первом выпуске рейтинга блоков по специальностям было всего несколько: машиностроение, электротехника, экономика и физика. В дальнейшем список вузов и специальностей расширялся. В2015 году к ним добавились психология, информатика и медицина. Расширен круг по отдельным специальностям.

Для большинства стран Европы, России и Германии сведения представлены в [54, 55].

Так как рейтинг U-Multirank является инициативой Европы, то университеты США в нём представлены в настоящее время слабо.

Динамика развития рейтинга U-Multirank показывает, что развитие его происходит весьма стремительно. Он не ограничивается определённым количеством университетов и стран. Если в 2014 в нём приняли участие более 850 учреждений из 74 стран мира, причём, 300 из них были дебютантами, не вошедшими ни в один из престижных рейтингов, то в следующем 2015 году список значительно расширился. В 2014 году наибольшее число вузов-участников из США – 126.

Россия была представлена МГУ, НИУ ВШЭ, ННГУ, НИУ Московским авиационным институтом, МФТИ, МЭСИ, Московским финансово-промышленным университетом «Синергия», ЮФУ, НИУ ТПУ.

В 2015 году список уже охватывал более 1200 институтов высшего образования. В рейтинге приняли участие 83 страны. В нём была представлена информация о более чем 1800 факультетов и 7500 программ обучения в рамках 7 научных дисциплин. Результатом сравнения стали 21000 оценок на уровне университетов и 37000 на уровне факультетов [54].

Т.е. рейтинг U-Multirank становится глобальным рейтингом и самой детальной базой данных университетов в мире. Это – первый глобальный рейтинг, предлагающий полную картину о разнообразии университетов всего мира.

Одной из модификаций рейтинга U-Multirank является национальный рейтинг университетов (НРУ), разработанный в России. [56]. Рейтинговая таблица НРУ-2016 для России включает 238 университетов. В рейтинг была предпринята попытка, с одной стороны, оставить сравнение по количественным показателям, с другой – приблизиться к расширенным показателям рейтинга U-Multirank . Что из этого получится – покажет время. Подробно о национальных рейтингах стран мире – во 2-й части Обзора.

Дополнительные рейтинги. RankPro, U.S. News, CWTS Leiden, PRSP, RUR. Основные критерии. Рейтинговые таблицы

В принципе, дополнительные рейтинги таковыми не являются, они менее популярны по сравнению с описанными выше, или введены в действие позднее. Вместе с тем, они являются самостоятельными единицами, степень использования которых постоянно увеличивается.

В связи с тем, что даже реферативное рассмотрение перечисленных рейтингов значительно увеличит объём Обзора, авторы останавливаются на кратком содержании этих рейтингов, но вместе с тем приводят достаточно подробную библиографию, касающихся их.

Например, рейтинг RankPro начал выпускаться ежегодно с 2015 года Международным советом ученых в рамках программы Global World Communicator. Всего в рейтинг было включено 500 университетов мира. Последний выпуск рейтинга вышел в марте 2016 года, имеются предварительны данные за 2017 год [57].

Настоящий профессиональный рейтинг университетов складывается из трех направлений ранжирования вузов: академическое ранжирование, Ранжирование по ВС – индексу (BC Index), аепутационное ранжирование. Весовые коэффициенты и соотношения между каждым из трех направлений при построении данного мирового профессионального рейтинга университетов определяется профессорами – членами Международного совета ученых из университетов разных типов более чем 40 стран. Коффициенты постоянно изменяются [58].

В первую десятку вошли следующие университеты США, Великобритании, Швейцарии и Франции .В рейтинг 2015 года вошли 26 российских вузов [58, 59].

Очередной рейтинг RankPro был опубликован в марте 2017 года. В [60] представлен список Топ 100 университетов мира, составленный по описанным выше принципам. Аналогичные сведения по Европе приведены в [61]. По Северной Америке в [62], для Азии в [63].

Среди стран лидерами в рейтинге RankPro стали США – 122 университета, Великобритания – 55, Германия – 36 [64]. В Топ-600 2016/2017, вошли вузы разных стран, в том числе и России [64]. Дополнительны сведения о лучших университетах в данном рейтинге по странам и места в рейтинге 600+ приведены в [65].

Рейтинги U.S. News представляют собой 2 вида оценочных систем: U.S. News Best Global Universities rankings и U.S. News & World Report, в конечном итоге соединённых в одну. Сначала ранжировались только американские университеты, что позволяло определять их местоположение в мире и производить сравнение внутри страны, а также в пределах каждого из штатов [66, 67]. В дальнейшем происходила своеобразная трансформация рейтинга. Первый выпуск такого рейтинга был опубликован в 2014 году. Второй выпуск – в 2015 году. В дальнейшем он стал ежегодным [68].

В пределах мирового рейтинга университетов U.S. News & World Report публикует предметные рейтинги по предметам и по странам. Рейтинг считается одним из авторитетных мировых рейтингов университетов и характеризуется жесткими критериями отбора.

Главным для данного является качество обучения, которое оценивается по таким параметрам, как уровень преподавательского состава, процент отчислений после первого года обучения и процент получивших диплом. Полную методику составления [69] можно посмотреть на сайте U.S. News & World Report. Список лучших университетов США 2015 представлен в [70].

В рейтинг 2017 года включены 1000 университетов из 65 стран, в рейтинге 2016 года -750 университетов из 57 стран; в рейтинге 2015 года -500 университетов из 49 стран. Рейтинг составлялся на основании данных Clarivate Analytics InCitesTM и включил в себя 1262 университета, из которых выбирался топ-1000. Оценка происходила, исходя из 12 индикаторов, представленных в [71].

Так как подсчёт коэффициентов был достаточно сложным, ранжирование происходило из упрощенной таблицы распределения числовых коэффициентов [72]:

Рейтинг университетов США по U.S. News & World Report представлен в [73].

Выборка по странам мира в рейтинге 2016: выглядит следующим образом: 1. Швейцария. 2. Канада. 3. Великобритания. 4. Германия. 5. Япония. 6. Швеция. 7. США. 8. Австралия. 9. Франция. 10. Норвегия [74]. Россия в рейтинге заняла 27-ю позицию. Остальные страны указаны в [75, 76].

CWTS Leiden Ranking. Лейденский рейтинг, составленный Центром научно-технологических исследований (Centre for Science and Technology Studies) Лейденского университета, (Нидерланды) является, хоть и достаточно распространенным, но вместе с тем узконаправленным рейтингом. Он ранжирует научно – исследовательскую деятельность ведущих университетов мира [77]. Ранжирование производится по девяти индикаторам, разбитым на две группы: влияние научно-исследовательской работы (Impact) и сотрудничество в научно-исследовательской работе (Collaboration). Подсчёт весовых коэффициентов производится по методике, изложенной в [78].

В первой половине мая 2014 года в рейтинг было включено 750 университетов из 49 стран на основе библиографической базы данных Web of Sciences Thomson Reuters. По странам: США – 166, Китай – 83,

Европа – 288,в том числе Германия-47, Великобритания и Италия 45 и 33. Из России только МГУ им. М.В.Ломоносова, из всего постсоветского пространства – университет Тарту (Эстония) – это по первой группе.

По второму второй группе, т.е. по уровню их сотрудничества в научно-исследовательской работе с другими организациями, где учитывается доля публикаций вуза, которые были написаны в соавторстве с одной или более организациями, ранжирование происходит совершенно в другом порядке.

В рейтинге CWTS Leiden 2015 учитывались пять основных направлений областях науки: биомедицина и науки о здоровье, жизнь и науки о Земле, математика и информатика, физические и технические науки, общественные и гуманитарные науки [79]. Составлены таблицы рейтингов CWTS Leiden 2011–2014 по странам и континентам, по Европе, Северной Америке, отдельным государствам[80].

PRSP. Одним из международных рейтингов является PRSP(Poverty Reduction Strategy Papers),все показатели для которого используются из баз компании Thomson Reuters.Для него установлены определённые весовые соотношения. Рейтинг PRSP имеет архив за 2007–2016 гг. для 500 лучших вузов.

Наиболее полно положение стран и отдельных университетов по этому рейтингу характеризуют таблицы, составленные по оригинальной форме.

Итоги подводятся 1 раз в 3 года. Принципиальных изменений в количестве стран и университетов не наблюдается. Подсчёты по нему достаточно сложны и вызывают и экспертов и пользователей много нареканий. Например, существует группа исследователей, которая выступает против засилья английского языка в образовании и науке проявлением «запоздавших политических эмоций». Вопрос спорный, ибо английский язык действительно является языком международного научного общения.

Вызывают вопросы и конкретные показатели, фигурирующие в рейтинговых методиках. Например, в рейтинге в фигурирует *h*-индекс (индекс Хирша), оценивающий одновременно публикационную активность и частоту цитирования исследователя. Однако сегодня имеется масса работ, которые предлагают разные модификации этого показателя и демонстрируют ограниченность его канонического варианта Манипулируя только одним этим показателем, можно менять итоги ранжирования.

К методике определения коэффициентов по данному рейтингу имеется много претензий По всей вероятности необходимо исследование устойчивости рейтингов к изменениям весовых коэффициентов.

Рейтинг RUR(Round University Ranking). Международный рейтинг университетов RUR создан российской компанией “Рейтинговое Агентство RUR”, существует с 2010 г., но практически стал действовать с 2013 года. Разработчики поставили задачу – дать прозрачный, комплексный инструмент для сравнения и сопоставления вузов в мире для максимально широкой аудитории: абитуриентов, аналитиков, лицам, принимающим решения в области развития высшего образования на уровне отдельных вузов и на национальном уровне [89] .

Оценка производилась по 20 индикаторам, распределенным по 4 направлениям или измерениям. В отличие от большинства других рейтингов, «веса» индикаторов внутри групп измерения равны между собой. Отсюда и происходит название «Round» – круговой, симметричный. Сначала в рейтинге оценивалась деятельность около 750 ведущих вузов мира из более, чем 70 стран.

За прошедшие годы существования рейтинга произошли существенные изменения. В настоящее время вузы оцениваются в рейтинге RUR по 20 параметрам, они сгруппированы в четыре направления: качество преподавания, качество научных исследований, уровень интернационализации и уровень финансовой устойчивости. Первые два параметра дают по 40 % в оценке вуза, остальные – по 10 %.

В рейтинге 2016 года по числу вузов лидером остаются США, представленные 141 университетом, что повторяет значения 4 предыдущих лет. На втором месте следует Великобритания (77 университетов). Замыкает тройку лидеров Япония с 39 университетами. На четвертом месте материковый Китай. Он 29 университетами. Пятерку лидеров замыкает Австралия – 28 университетов.

В апреле с.г. агентством RUR был опубликован рейтинг лучших университетов мира за 2017 год. Участниками стали 763 вуза, 67 из которых являются российскими, укрепившие свои позиции по сравнению с прошлым годом.

Оценка происходит по 20 критериям, сгруппированным по таким направлениям, как качество преподавания; качество исследований; уровень интернационализации; уровень финансовой устойчивости.

Тор-5 лучших вузов мира по версии RUR выглядят следующим образом: 1. Гарвардский университет. 2. Калифорнийский технологический институт. 3. Чикагский университет. 4 Имперский колледж в Лондоне.

5. Стэндфордский университет. 4 из 5 университетов – из США.

По количеству вузов в RUR 2017 бесспорным лидером остаются США, представленные 140 вузами, на втором месте Китай с 81 университетом. В мировой топ-10 входят семь вузов США и три вуза Великобритании. В топ-20 представлены еще три страны: два университета Швейцарии (Высшая политехническая школа в Лозанне (11-е место) и Высшая политехническая школа в Цюрихе (15-е место), по одному вузу от Швеции (Каролинский институт – 13 место) и Франции (Политехническая школа – 16 место).

В мировой топ-100 в общей сложности вошли вузы из 21-й страны мира.

По количеству представленных 30 вузов Россия находится на четвертом месте в мире. 2016 г. она была представлена 23 вузами. При этом три вуза вошли в топ-100 дополнительного рейтинга по качеству преподавания: 42-е место в мире – МГУ, 72-е – Томский государственный университет, 85-е – РУДН. Десять российских вузов вошли в топ-500 международного рейтинга университетов RUR за 2017 год. Динамика улучшения качества постоянно приводится.

Рейтинг RUR(Round University Ranking). Международный рейтинг университетов RUR создан российской компанией "Рейтинговое Агентство RUR", существует с 2010 г., но практически стал действовать с 2013 года. Разработчики поставили задачу – дать прозрачный, комплексный инструмент для сравнения и сопоставления вузов в мире для максимально широкой аудитории: абитуриентов, аналитиков, лицам, принимающим решения в области развития высшего образования на уровне отдельных вузов и на национальном уровне . Предполагалось создание рейтинга на основе следующих принципов:

– стабильность выборки в позициях и баллах вузов;

– равное распределение индикаторов между областями измерения;

– равные весовые коэффициенты внутри областей измерения;

– любой вуз имеет возможность принять участие в рейтинге, вне зависимости от каких-либо ограничивающих факторов.

Оценка производилась по 20 индикаторам, распределенным по 4 направлениям или измерениям. В отличие от большинства других рейтингов, «веса» индикаторов внутри групп измерения равны между собой. Отсюда и происходит название «Round» – круговой, симметричный. Сначала в рейтинге оценивалась деятельность около 750 ведущих вузов мира из более, чем 70 стран.

За прошедшие годы существования рейтинга произошли существенные изменения. В настоящее время вузы оцениваются в рейтинге RUR по 20 параметрам, они сгруппированы в четыре направления: качество преподавания, качество научных исследований, уровень интернационализации и уровень финансовой устойчивости. Первые два параметра дают по 40 % в оценке вуза, остальные – по 10 %.

Рейтинги RUR выходят на основе данных, предоставляемых международной компанией Thomson Reuters в рамках специального ежегодного исследования, ежегодно проводимого Thomson Reuters в составе проекта GIPP – Academic Reputation Survey. Ежегодно в этом исследовании принимает участие, в среднем, 10,000 ученых, предварительно отобранных с помощью Web of Science Core Collection.

В рейтинге 2016 года по числу вузов лидером остаются США, представленные 141 университетом, что повторяет значения 4 предыдущих лет. На втором месте следует Великобритания (77 университетов). Замыкает тройку лидеров Япония с 39 университетами. На четвертом месте материковый Китай. Он 29 университетами. Пятерку лидеров замыкает Австралия – 28 университетов.

В апреле с.г. агентством RUR был опубликован рейтинг лучших университетов мира за 2017 год. Участниками стали 763 вуза, 67 из которых являются российскими, укрепившие свои позиции по сравнению с прошлым годом.

Оценка происходит по 20 критериям, сгруппированным по таким направлениям, как [90]:

– качество преподавания;

– качество исследований;

– уровень интернационализации;

– уровень финансовой устойчивости. Следует учитывать, что при составлении рейтинга RUR наибольший вес имеют такие показатели, как качество преподавания и исследовательская работа.

Тор-5 лучших вузов мира по версии RUR выглядят следующим образом: 1. Гарвардский университет. 2. Калифорнийский технологический институт. 3. Чикагский университет.4 Имперский колледж в Лондоне. 5. Стэндфордский университет. 4 из 5 университетов – из США. По количеству вузов в RUR 2017 бесспорным лидером остаются США, представленные 140 вузами, на втором месте Китай с 81 университетом. В мировой топ-10 входят семь вузов США и три вуза Великобритании. В топ-20 пред-

ставлены еще три страны: два университета Швейцарии (Высшая политехническая школа в Лозанне (11-е место) и Высшая политехническая школа в Цюрихе (15-е место), по одному вузу от Швеции (Каролинский институт – 13 место) и Франции (Политехническая школа – 16 место).

В мировой топ-100 в общей сложности вошли вузы из 21-й страны мира. По количеству представленных 30 вузов Россия находится на четвертом месте в мире. 2016 г. она была представлена 23 вузами.

Ниже – список топ-5 вузов России в рейтинге RUR, после номера – место в мировом списке [91] 1. МГУ им. М.В. Ломоносова-145. 2. Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ – 231. 3. Томский государственный университет 256.4. Московский физико-технический институт-294. 5. Новосибирский государственный университет – 372. Стоит отметить, что МГУ и ТГУ заняли 42 и 72 места соответственно в дополнительном рейтинге RUR по качеству преподавания. Десять российских вузов вошли в топ-500 международного рейтинга университетов RUR за 2017 год. Динамика улучшения качества приведена в специальной литературе.

Подробный анализ различных рейтингов не даёт прямого ответа на вопрос о том, какой же из них является наиболее предпочтительным, но их множественность сама по себе дает новые возможности для анализа степени их использования.

Более подробно рейтинг университетов RUR будет рассмотрен при составлении 2-й части обзора по национальным рейтингам. В частности, рассмотрен алгоритм анализа и оценки, представляющий собой эвристическую процедуру, состоящую из несколько этапов оценки рейтингов.

Любая изучаемая группа университетов может быть разбита на три равные подгруппы. Первая подгруппа будет состоять из »хороших» вузов (лидеров) группы, вторая подгруппа – из »средних» вузов, а третья – из »плохих» (аутсайдеров), т.е. предполагается, что недопустимым должно считаться такое отклонение, при котором университет может переходить в качественно другую подгруппу, т.е. осуществлять переход через подгруппу.

Авторы методики определяют коэффициенты глобальной и локальной надёжности, т.е. в конечном итоге определяют, какая из ранговых систем наиболее полно отвечает на вопрос, что в каждом конкретном случае ближе к реальному положению вещей.

Список литературы

1. Левинзон С. Критерии сравнительной оценки в жизни, учёбе, технике, 2014. – 298 с. – URL: http://berkovich-zametki.com/Kiosk/Levinzon.pdf (дата обращения: 12.02.2017).

2. Современные тенденции развития рейтингов. – URL: http://5top100.ru/rankings/ (дата обращения: 12.02.2017).

3. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Международные рейтинги университетов: практика составления и использования. – URL: http://www.econorus.org/sub.phtml?id=210 (дата обращения: 14.02.2017).

4. Международные рейтинги университетов Обзор (06.2015 – 05.2016). – URL: http://univerrating.ru/FtpRoot/files/%D0%A0%D0%B5 %D0%B9%D1%82%D0%B8%D0% BD%D0%B3%D0%B8%202015–16.pdf (дата обращения: 17.02.2017).

5. Рейтинги QS (http://www.topuniversities.com/) Рейтинг мировых университетов компании QS – 2015/2016 (QS World University Rankings 2015/2016). URL: http://www.topuniversities.com (дата обращения: 17.02.2017).

6. Рейтинг мировых университетов компании QS – 2015/2016 (QS World University Rankings 2015/2016). URL: http://www.topuniversities.com (дата обращения: 20.02.2017).

7. Современные тенденции развития рейтингов. URL: http://5top100.ru/rankings/ (дата обращения: 20.02.2017).

8. Electrical & Electronic Engineering | QS World University Rankings by Subject 2016 | Top Universities | Best Universities URL: http://www.university-list.net/rank/univ-110054.html (дата обращения: 20.02.2017).

9. Университеты Германии. Рейтинг QS 2016 для Германии. – URL: http://www.studyabroad.ru/guide/germany/uni/ (дата обращения: 20.02.2017).

10. Рейтинг технических вузов Германии. Электротехника. – URL: http://albioneducation.com/vyisshee-obrazovanie-v-germany/rejting-vuzov-germanii.html?format=html#электротехника (дата обращения: 22.02.2017).

11. Рейтинг технических вузов Германии. Электротехника. – URL: http://albioneducation.com/vyisshee-obrazovanie-v-germany/rejting-vuzov-germanii.html?format=html#информатика (дата обращения: 22.02.2017).

12. QS World University Rankings by Subject 2016. – URL: https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2016/law-legal-studies (дата обращения: 25.02.2017).

13. Рейтинг ведущих технических университетов мира. – URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/engineering/ (дата обращения: 28.02.2017).

14. Рейтинг вузов России и стран СНГ. URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/reyting-vuzov-rossii-i-stran-sng/ (дата обращения: 03.03.2017).

15. Российские вузы в мировом рейтинге QS. – URL: https://ria.ru/abitura_world/20160905/1475901019.html (дата обращения: 05.03.2017).

16. Academic Ranking of World Universities. – URL: http://5top100.ru/rankings/arwu/ (дата обращения: 12.03.2017).

17. Методика академического рейтинга университетов мира ARWU 2016 Выбор университетов для рейтинга. – URL: http://5top100.ru/upload/iblock/2dc/metodika-obshchego-reytinga-arwu.pdf (дата обращения: 14.03.2017).

18. Шанхайский рейтинг вузов. – URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/arwu/ (дата обращения: 15.03.2017).

19. Шанхайский рейтинг. Технические университеты. – URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/engineering/?ranking=1 (дата обращения: 17.03.2017).

20. Шанхайский рейтинг вузов России. – URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/reyting-vuzov-rossii-i-stran-sng/?ranking=1 (дата обращения: 18.03.2017).

21. Академический рейтинг мировых университетов 2015 (Academic Ranking of World Universities – ARWU – 2015). – URL: http://www.shanghairanking.com/ (дата обращения: 21.03.2017).

22. Академический рейтинг университетов мира 2015. URL: http://www.shanghairanking.com/ru/ARWU2015.html (дата обращения: 22.03.2017).

23. Рейтинг лучших университетов мира по версии THE. – URL: http://gtmarket.ru/ratings/the-world-university-rankings/info (дата обращения: 22.03.2017).

24. Мировой репутационный рейтинг университетов THE – 2016 (The Times Higher Education World Reputation Rankings – 2016). – URL: http://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/ (дата обращения: 18.03.2017).

25. Лучшие университеты Европы THE. – URL: http://www.e-xecutive.ru/education/ratingsbs/1984825–luchshie-universitety-evropy-2016 (дата обращения: 23.03.2017).

26. Рейтинг лучших университетов Европы THE 2016 (THE Best universities in Europe 2016). – URL: https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings (дата обращения: 20.03.2017).

27. Рейтинг технических университетов THE. – URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/engineering/?ranking=4 (дата обращения: 24.03.2017).

28. Рейтинг университетов Европы THE-2016. – URL: http://www.hotcourses.ru/study-abroad-info/latest-news/the-europe-rankings-2016–uk-germany-italy-on-top/ (дата обращения: 27.03.2017).

29. Рейтинг ведущих технических университетов мира. – URL: http://www.educationindex.ru/articles/university-rankings/engineering/ (дата обращения: 21.03.2017).

30. World University Ranking 2016. – URL: https://data.world/hhaveliw/world-university-ranking-2016 (дата обращения: 25.03.2017).

31. Рейтинг Webometrics. – URL: https://www.kantiana.ru/ratings/webometrics/ (дата обращения: 02.04.2017).

32. Карпенко О.М., Бершадская М.Д. Международный рейтинг университетов Webometrics: основные идеи, индикаторы, результаты. – URL: https://publications.hse.ru/en/articles/74734499 (дата обращения: 17.04.2017).

33. Рейтинг Webometrics – 2016. – URL: http://univer-rting.ru/FtpRoot/files/ %D0 %A0 %D0 %B5 %D0 %B9 %D1 %82 %D0 %B8 %D0 %BD %D0 %B3 %D0 %B8 %202015–16.pdf (дата обращения: 10.04.2017).

34. Семь российских вузов вошли в топ-1000 Webometrics. – URL: https://www.vedomosti.ru/management/news/2016/02/01/626324–top-1000–webometrics (дата обращения: 08.04.2017).

35.Рейтинг Webometrics Ranking of World Universities – университет улучшает позиции. – URL: https://sechenov.ru/pressroom/news/reyting-webometrics-ranking-of-world-universities-universitet-uluchshaet-pozitsii-/ (дата обращения: 11.04.2017).

36. Ranking Webometrics-Region. – URL: http://www.webometrics.info/en/search/Rankings/sechenov %20type %3Aregion (дата обращения: 14.04.2017).

37. 2017. Ranking Web of Universities. January New Edition. – URL: http://www.webometrics.info/en/node/178 (дата обращения: 19.04.2017).

38. Рейтинг Web Европа. – URL: http://www.webometrics.info/en/Ranking_Europe (дата обращения: 22.04.2017).

39. Рейтинг Web США. – URL: http://www.webometrics.info/en/Americas/USA (дата обращения: 25.04.2017).

40. Ranking Web of universities. – URL: http://www.webometrics.info/en/Europe/Russian %20Federation (дата обращения: 05.04.2017).

41.Университетский Web рейтинг 2016 года/Европа. – URL: http://collegemvd.by/topEurope/ (дата обращения: 28.04.2017).

42. Многомерный рейтинг U- Multirank. – URL: http://univer-rating.ru/txt.asp?rbr=0&txt=Rbr0Text8344&lng=0 (дата обращения: 19.04.2017).

43. New international university ranking: Commission welcomes launch of U-Multirank. – URL: http://5top100.ru/upload/iblock/b2c/metodika-u_multirank.pdf (дата обращения: 29.04.2017).

44. U-Multirank- 2014. URL: http://univer-rating.ru/news.asp?lnt=6&id=255 (дата обращения: 30.04.2017).

45. U-Multirank анонсирует второй международный рейтинг университетов. URL: http://meta.umultirank.org/fileadmin/downloads/UMR_Launch_Press_Release_March_2015_Russia (дата обращения: 23.04.2017).

46. U-Multirank. – URL: http://univer-raing.ru/FtpRoot/ files/ %D0 %A0 %D0 %B5 %D0 %B9 %D1 %82 %D0 %B8 %D0 %BD %D0 %B3 %D0 %B8 %202015–16.pdf (дата обращения: 30.04.2017).

47. Методика U-Multirank. – URL: http://5top100.ru/upload/iblock/b2c/metodika-u_multirank.pdf (дата обращения: 28.04.2017).

48. U-Multirank. Ранговые группы. URL:http://pre.umultirank.org/cms/wpcontent/uploads/2014/04/Rank-group-calculation-in-U-Multirank.pdf (дата обращения: 03.05.2017).

49. U-Multirank. Ранговые группы. URL:http://pre.umultirank.org/cms/wpcontent/uploads/2014/04/Rank-group-calculation-in-U-Multirank.pdf (дата обращения: 04.05.2017).

50. U-Multirank launched by EU commissioner. – URL: https://www.timeshighereducation.com/news/u-multirank-launched-by-eu-commissioner/2013272.article (дата обращения: 25.04.2017).

51. New international university ranking: Commission welcomes launch of U-Multirank. – URL : http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14–548_en.htm (дата обращения: 28.04.2017).

52. Рейтинг U-Multirank.Основная страница. – URL: http://www.u-multirank.eu/#!/home?trackType=home&sightMode=undefined&section=&name=null (дата обращения: 29.04.2017).

53. U-Multirank. Methodology. – URL: http://www.umultirank.org/#!/about/methodology?section=undefined&name=null&trackType=about (дата обращения: 06.05.2017).

54. Обобщённые графики U-Multirank. – URL: http://www.u-multirank.eu/#!/home?trackType=home&sightMode=undefined&section= (дата обращения: 02.05.2017).

55. Методика и процедуры формирования Национального рейтинга университетов (НРУ-2016). – URL: http://univer-rating.ru/txt.asp?rbr=30&txt=Rbr30Text3189&lng=0 (дата обращения: 04.05.2017).

56. Национальный рейтинг университетов. – URL: http://univer-rating.ru/rating_common.asp (дата обращения: 06.05.2017). ftp://ftp.repec.org/opt/ReDIF/RePEc/nea/journl/2011–9–150–172r.pdf (дата обращения: 27.05.2017).

57. RankPro® 2016/2017. – URL: http://www.cicerobook.com/en/ (дата обращения: 03.05.2017).

58. Мировой профессиональный рейтинг университетов RankPro® 2015/2016 (Worldwide Professional University Rankings RankPro® 2015/2016). – URL: http://www.cicerobook.com/ru (дата обращения: 04.05.2017).

59. RankPro. Новости. – URL: https://s-vfu.ru/news/detail.php?SECTION_ID=18&ELEMENT_ID=45208 (дата обращения: 10.05.2017).

60. RankPro 2016/2017 TOP World leading universities. – URL: http://www.cicerobook.com/userfiles/files/2016–17_RankPro.pdf (дата обращения: 05.05.2017).

61. RankPro 2016/2017 Europe TOP. URL: http://www.cicerobook.com/userfiles/files/2016–17_RankPro_EuropeTOP.pdf (дата обращения: 07.05.2017).

62. RankPro 2016/2017 Americas TOP. URL: http://www.cicerobook.com/userfiles/files/2016–17_RankPro_AmericasTOP.pdf (дата обращения: 10.05.2017).

63. RankPro 2016/2017 Asia-Pacific TOP. – URL: http://www.cicerobook.com/userfiles/files/2016–17_RankPro_Asia-PacificTOP.pdf (дата обращения: 12.05.2017).

64. МГУ вошёл в список лучших университетов мира по 7 предметам. – URL: http://belrynok.com/2017/03/mgu-

voshel-v-spisok-50–nailuchshih-universitetov-mira-po-7/ (дата обращения: 14.05.2017).

65. RankPro 2016/2017 World leading universities Classification 600+. – URL: http://www.cicerobook.com/userfiles/files/RankPro%202016–17_600+.pdf (дата обращения: 08.05.2017).

66. 2017 Best High Schools. – URL: https://www.usnews.com/education (дата обращения: 12.05.2017).

67. U.S. News High School Rankings. Rankings by State. – URL: U.S. News High School Rankings (дата обращения: 13.05.2017).

68. Рейтинг U.S. News Best Global Universities rankings. – URL: http://5top100.ru/rankings/us-news/ (дата обращения: 16.05.2017).

69. High School Counsellor Rankings National Universities. – URL: https://www.usnews.com/best-colleges/rankings/national-universities/high-school-counselor (дата обращения: 19.05.2017).

70. Рейтинг университетов США 2015/16 по версии U.S. NEWS & WORLD REPORT. – URL: http://www.language-travel.ru/01.01.04.01/677.aspx (дата обращения: 19.05.2017). 71.Методика общего рейтинга U.S. News Best Global Universities rankings (2017). – URL: http://5top100.ru/upload/iblock/36d/metodika-_-u.s.news-_-obshchiy-reyting_korr.pdf (дата обращения: 17.05.2017).

72. Изменения в методологии общего рейтинга U.S. News Best Global Universities 2017 года. – URL: https://www.usnews.com/education/best-colleges/articles/how-us-news-calculated-the-rankings (дата обращения: 18.05.2017).

73. Best Global Universities Rankings. – URL: https://www.usnews.com/education/best-global-universities/rankings (дата обращения: 15.05.2017).

74. Overall Best Countries Ranking. – URL: https://www.usnews.com/news/best-countries/overall-full-list (дата обращения: 22.05.2017).

75. Швейцария признана лучшей страной в мире по версии американского журнала US News & World Report. – URL: http://www.panarmenian.net/rus/news/234328/ (дата обращения: 20.05.2017).

76. Россия вошла в тридцатку лучших стран мира. – URL: https://lenta.ru/news/2017/03/07/rating/ (дата обращения: 21.05.2017).

77. CWTS Leiden Ranking – 2014. – URL: http://univer-rating.ru/txt.asp?rbr=0&txt=Rbr0Text9945&lng=0 (дата обращения: 25.05.2017).

78. CWTS Leiden Ranking 2015. – URL: http://www.leidenranking.com/Content/CWTS%20Leiden%20Ranking%202015.pdf (дата обращения: 19.05.2017).

79. CWTS Leiden Ranking 2016. – URL: http://www.leidenranking.com/ (дата обращения: 21.05.2017).

80. CWTS Leiden Ranking 2016 list. – URL: http://www.leidenranking.com/ranking/2016/list (дата обращения: 23.05.2017).

УДК 678.632

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

В данной статье рассматриваются основные вещества и материалы, получаемые путем переработки композиций на основе фенолформальдегидных смол, к которым относятся широко распространенные пресс-порошки, волокниты, фаолит и слоистые пластики, а также менее распространенные пенофенопласты, сотофенопласты и др. Приведены рецептуры композиций на основе фенолоформальдегидных смол, технологии их переработки и свойства, перечислены области применения и получаемые из них изделия. Из представленной в работе информации следует, что за счет разнообразия свойств фенолформальдегидных смол, видов и свойств наполнителей получаемые из них композиционные материалы применяются для получения самых разнообразных изделий и являются одними из самых крупнотоннажных в полимерной промышленности. Единственным ограничением применения этих композиционных материалов является токсичность фенолформальдегидных смол.

Ключевые слова: фенопласт, пресс-порошок, волокнит, текстолит, фаолит, гетинакс, древеснослоистые пластики

PRODUCTION TECHNOLOGY, PROPERTIES AND APPLICATIONS OF COMPOSITES BASED ON PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS

Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S.

Vladimir state university of a name of A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

In this article presented the basic substances and materials, obtained by processing of compositions based on phenol-formaldehyde resins, which include widespread molding powders, fibre reinforced plastic, faolite and laminated plastic, as well as less common phenolic foam, honeycomb phenolic plastics etc. Presented composition formulation based on phenol-formaldehyde resins, technology of their processing and properties listed applications and derived products. From the presented information of article follows that due to the diversity of the properties of phenol-formaldehyde resins, types and properties of fillers derived from these composite materials are used for a variety of products and are among the most common and large-tonnage in the polymer industry. The only limitation of the application of these composite materials is the toxicity of phenol-formaldehyde resins.

Keywords: phenolic plastics, molding powder, fibre reinforced plastic, textolite, faolite, hardened paper, wood laminated plastic

Композиции на основе фенолформальдегидных смол были одними из первых высокомолекулярных соединений, которые стали использоваться в промышленности и до недавнего времени они были самыми распространенными во многих областях человеческой деятельности. Не смотря на развитие промышленности полимерных материалов, создание новых соединений и композиций, а также токсичность фенолформальдегидных смол, композиции на их основе широко используются и сегодня, хотя объемы их получения и стали ниже, уступая по темпам производства ряду других поликонденсационных и особенно полимеризационных пластмасс.

В первую очередь это касается производства и применения фенопластов, которые сохраняют свое преимущество перед другими материалами в изготовлении деталей технического назначения, работающих в условиях высоких температур и повышенной влажности, радиотехнической аппаратуры, водо- и кислотостойких изделий, футеровочной плитки, изделий, обладающих высокими фрикционными свойствами (тормозные колодки), химической аппаратуры, в машиностроении для изготовления колес, шестерен, в электротехнике, автомобиле- и судостроении.

Фенопласты являются полимерными композиционными материалами (ПКМ), получаемыми в основном методом горячего прессования. Как и в случае с другими ПКМ в зависимости от типа наполнителя различают следующие группы фенопластов: пресс-порошки с порошкообразными (дисперсными) наполнителями, волокниты с наполнителями в виде отдельных волокон, а также слоистые пластики с наполнителями в виде ткани (текстолиты), бумаги или шпона [1].

Пресс-порошки

Рецептура пресс-порошков. Фенолоформальдегидные пресс-порошки (рис. 1)

представляют собой композиции, в состав которых входят связующие, наполнители, отвердители, смазки, красители и другие специальные добавки [2, 4].

Рис. 1. Внешний вид пресс-порошков

В качестве связующих применяют новолачные или резольные смолы в твердом или жидком виде, а наполнителями являются древесная мука, каолин, стеклянные микросферы, литопон и др. Для повышения тепло- и электропроводности в качестве наполнителей используют графит, металлические порошки или стальные опилки. В качестве отвердителя для новолачных смол чаще всего используют уротропин, реже применяют оксид кальция или магния. Чтобы избежать прилипания изделий к пресс-формам применяют смазки: стеариновую или олеиновую кислоту, а также их соли – стеараты или олеаты, не вызывающие коррозии пресс-форм. Для придания пресс-порошкам различных цветов в состав композиций вводят красители, которые должны быть термостабильными, а также стойкими к действию аммиака и других химических веществ, действующих на краситель при прессовании. Обычно пресс-порошки для изделий технического назначения окрашивают в черный цвет при помощи нигрозина или в коричневый цвет при помощи мумии. Из неорганических пигментов нередко применяют ультрамарин, литопон, из органических – большей частью анилиновые красители (спирторастворимый красный С, желтый светопрочный и др.) [2]. Для повышения водостойкости, ударной вязкости и других свойств фенолформальдегидные смолы часто модифицируют термопластами (полиамидами, каучуками, поливинилхлоридом и др.) [4].

Примерные соотношения компонентов для пресс-порошком на основе новолачных и резольных смол примерно одинаковы (мас. ч.) [2]: смола = 35 – 45; древесная мука или минеральные крошки = 40 – 60; уротропин = 3 – 7; красители = 1 – 2; оксид кальция или магния = 1 – 3.

Производство пресс-порошков и изделий из них. Для изготовления пресс-порошков наибольшее распространение получил суховальцовый метод. На рис. 2 показана схема получения пресс-порошков из новолачной смолы. В соответствии с этим методом исходные компоненты перемешиваются в смесительном барабане. Затем полученная смесь дозируется в зазор между рабочим и холостым валками непрерывного действия. Валки нагреваются паром или охлаждаются водой таким образом, чтобы температура рабочего валка составляла 70 – 110 °С, а температура холостого равнялась 100 – 130 °С. Из-за разности температур смесь налипает на рабочий валок и перемешивается расположенными на нем плугообразными ножами. Перемешиванию способствует и разная скорость вращения валков. При этом под действием трения и давления происходит нагрев и пластикация смеси по мере ее движения от центра рабочего валка к его краям [2, 3]. У краев валка от провальцованного материала дисковыми ножами отрезается непрерывная лента, которая снимается плоскими ножами и перемещается на транспортер, где охлаждается воздухом. Дисковые и плоские ножи также закреплены на рабочем валке [2]. Охлажденный материал измельчается в дробилке и попадает в смеситель-стандартизатор, а затем на фасовочную машину. Для удобства последующей переработки пресс-порошки часто формуют в таблетки. При использовании резольной смолы увели-

чивается продолжительность вальцевания из-за более высокой вязкости композиции и благодаря меньшей скорости отверждения по сравнению с новолачной смолой в смеси с уротропином.

или шприцгусс-процессом [2], применяют для получения изделий, включающих сложную арматуру. Способ штранг-прессования (непрерывного выдавливания) применяется для изготовления различных профильных

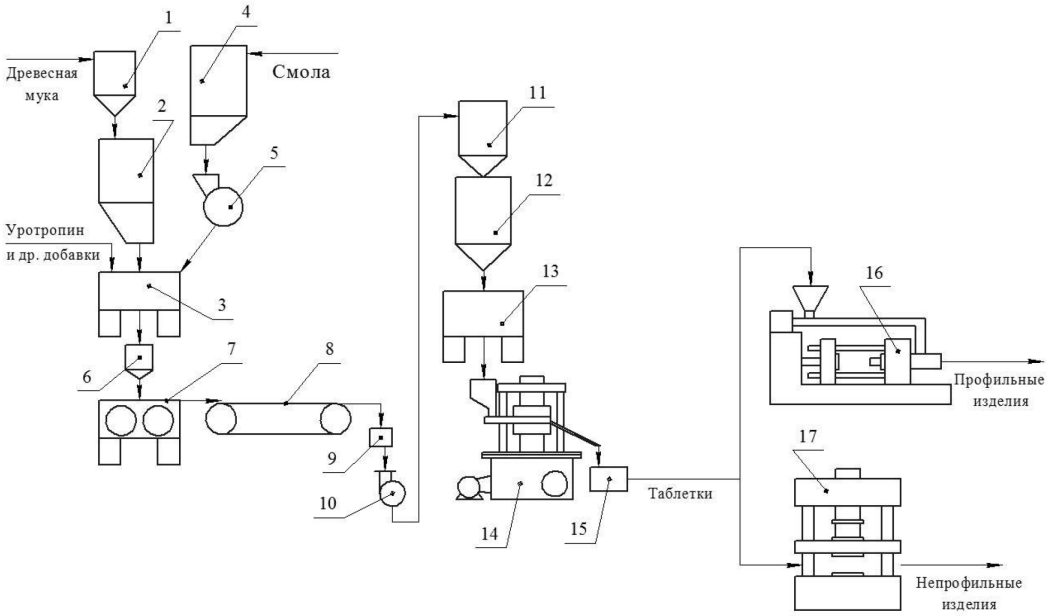


Рис. 2. Технологическая схема производства новолачных пресс-порошков непрерывным суховальцовым способом и получения изделий из них: 1, 11 – циклоны; 2, 4. 6, 12 – бункеры-дозаторы; 3 – смесительный барабан; 5 – мельница тонкого помола; 7 – вальцы непрерывного действия; 8 – транспортер; 9 – зубчатая дробилка; 10 – молотковая дробилка; 13 – смеситель-стандартизатор; 14 – роторная таблетирующая машина; 15 – фасовочная машина; 16 – пресс для штранг-прессования; 17 – гидравлический пресс для прямого или литьевого прессования

Переработка пресс-порошков в изделия производится различными способами. Самым распространённым является горячее прессование, называемое также прямым или компрессионным. Для получения изделий таблетки подогревают, помещают в соответствующие формы и впрессовывают те или иные изделия. Прессование производится примерно при температуре около 170° С и давлении в несколько сот атмосфер. Вследствие текучести смолы при этих условиях пресс-порошок хорошо заполняет форму. Затем в смоле происходит химическая реакция образования пространственной структуры, она теряет текучесть, и вся масса превращается в монолитное твердое изделие. Оно хорошо отделяется от формы, и цикл прессования начинается снова. Способ литьевого прессования, называемое также трансферным прессованием

изделий из пресс-порошков (трубки, стержни, уголки).

Область применения и свойства пресс-порошков. Свойства и назначение пресс-порошков определяются их составом и технологическими параметрами получения. В соответствии с действующим стандартом [4] различают следующие типы пресс-порошков:

– пресс-порошки общего назначения (тип О), получаемые на основе новолачных смол (НС), наполненных древесной мукой. Применяются для производства изделий бытового и технического назначения, не испытывающих сильных нагрузок, действия высоких температур или агрессивных сред: выключателей, штепселей, корпусов некоторых приборов и т.д.;

– теплостойкие (в более ранних источниках жаростойкие [2]) пресс-порошки (тип

Ж), получаемые на основе НС, наполненных такими термостойкими веществами как асбест или слюда. Применяются для производства изделий, используемых при высоких температурах;

– ударопрочные пресс-порошки (тип У), получаемые на основе НС, модифицированных каучуком и наполненных древесной мукой или минеральными порошками. Применяются для производства изделий с повышенной прочностью на ударный и статический изгиб, кручения, а также изделий антифрикционного назначения;

– электротехнические пресс-порошки (тип Э), получаемые на основе резольных или новолачных смол, наполненных древесной мукой или минеральными наполнителями. Как следует из названия применяются для изготовления электро- и радиодеталей. В случае повышенных требований к диэлектрическим свойствам применяются пресс-порошки на основе резольных и модифицированных новолачных смол с минеральными наполнителями.

В более ранних стандартах [2] также различали следующие типы:

– влагохимстойкие пресс-порошки (тип ВХ), получаемые на основе НС, модифицированных поливинилхлоридом и наполненных минеральными или органическими веществами. Применяются для изготовления крышек и пробок аккумуляторных баков, деталей стиральных машин и других изделий, контактирующих с влагой и кислотами;

– безаммиачные пресс-порошки (тип СП), получаемые на основе фенолоанилиноформальдегидных резольных смол, наполненных древесной мукой. Их получают без уротропина, выделяющего аммиак при прессовании, и применяют для изготовления радиодеталей, соприкасающихся с серебряными контактами.

В последнее время стали широко применяться пресс-порошки для переработки литьем под давлением, относящиеся к типу О и содержащие специальные отвердители, которые позволяют материалу находиться в вязкотекучем состоянии в инжекционном цилиндре литьевой машины при температурах при 90–130°С и быстро отверждаться в форме при температурах 160–170°С.

Также стоит отметить, что для материала полученного на основе фенолформальдегидной смолы, наполненной древесной мукой, применяют название карболит.

Свойства фенопластов на основе различных пресс-порошков по действующему стандарту приведены в табл. 1 [4], внешний вид изделий из различных пресс-порошков представлен на рис. 3.

Таблица 1

Физико-механические и диэлектрические свойства фенопластов на основе пресс-порошков

Свойство	Тип пресс-порошка			
	О	Ж	У	Э
Плотность, кг/м^3, не более	1450	2000	1450–1500	1400–2000
Прочность на изгиб, МПа, не менее	60–70	50	55–79	50–67
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м^2, не менее: – образец с надрезом – образец без надреза	 1,3–1,5 6,0	 1,0–5,0 3,5–5,0	 2,5–12,0 5,0–12,0	 1,5 3,0–5,0
Сопротивление изоляции, Ом, не менее	10^8–10^{10}	10^8	-	10^{12}
Электрическая прочность, МВ/м	3,5	2,0	-	5,8–16,0
Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц, не более	0,10	–	–	0,03–0,06

Рис. 3. Изделия из фенопластовых пресс-порошков

Волокниты

Среди фенопластов с длинноволокнистыми наполнителями, которые отличаются повышенной ударной вязкостью и улучшенными механическими свойствами, наиболее распространены композиции на основе эмульсионной резольной смолы.

В примерную рецептуру волокнита входят следующие компоненты (мас.%) [2]: эмульсионная смола (в пересчете на сухую) = 43 – 50; хлопковая целлюлоза (линт) = 42 – 49; минеральный наполнитель (каолин или тальк) = 5 – 7; олеиновая кислота = 2; известь = 1.

Схема процесса получения волокнита показана на рисунке 4. Перед добавлением в смеситель смолу подвергают стандартизации, разбавляя ее этиловым спиртом с добавлением олеиновой кислоты в качестве смазки в том же реакторе, в котором эту смолу получают. Это необходимо для обеспечения хорошей пропитываемости волокон [10].

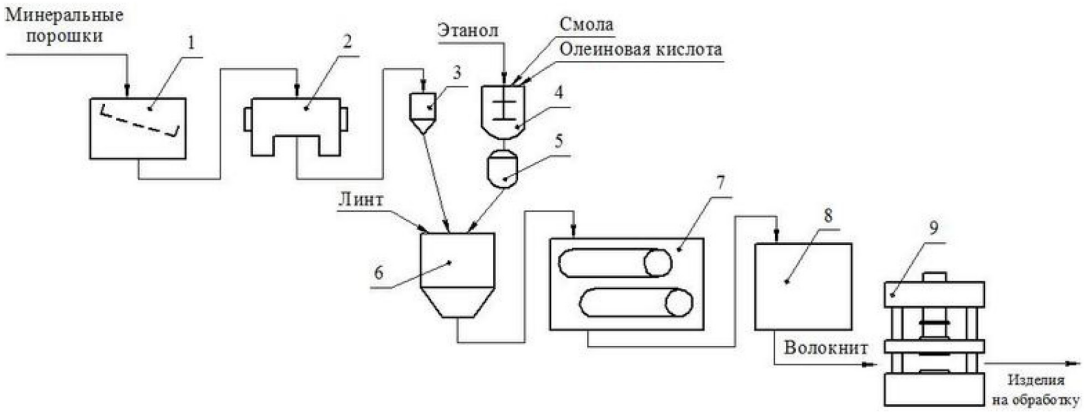


Рис. 4. Технологическая схема производства волокнита:
1 – сито; 2, 4, 6 – смесители; 3, 5 – мерники; 7 – ленточная сушилка; 8 – стандартизатор; 9 – гидравлический пресс

Затем стандартизованную смолу переливают в смеситель, в который вначале добавляют хлопковую целлюлозу (линт), а затем опудривают полученную смесь минеральными порошками, в основном тальком или каолином. В результате получается волокнит, который высушивают в ленточной сушилке и подают в стандартизатор. Изделия из волокнитов получают методом прямого прессования.

Волокниты применяют для производства деталей, работающих при повышенных механических нагрузках – панели, рейки, маховички, втулки, ролики, кулачки, шестерни, рукоятки [2], тормозные колодки и др. (см. рис. 5).

щие при повышенных и значительных механических нагрузках:

– изделия, работающие в тормозных механизмах и предназначенные для замедления движения, а также удержания и полной остановки механизма. К ним относят тормозные колодки и накладки, тормозные ленты и вкладыши. Они не дают износа тормозному барабану, очень надежны в эксплуатации, обладают высокой механической прочностью, а также сохраняют свои эксплуатационные свойства даже в холодном климате при – 60°С;

– изделия, работающие во фрикционных механизмах – муфтах сцепления, которые предназначены для передачи движе-

Рис. 5. Изделия из волокнитов

Асбоволокнит. Асбоволокнит представляет собой разновидность волокнитов, в котором как следует из названия в качестве наполнителя используют асбестовое волокно. Технология получения асбоволокнита также, как и обычного волокнита, включает стандартизацию эмульсионной резольной смолы этиловым спиртом и добавление смазки (олеиновой кислоты или ее солей). Кроме того, в реакционную смесь для повышения теплопроводности добавляют латунные стружки, а полученную в смесители массу для гомогенизации и уплотнения пропускают через вальцы. Полученный волокнит высушивают и стандартизуют.

Из асбоволокнита методом прессования получают фрикционные изделия, работающие за счет трения от одной части машины к другой. Это накладки сцепления, типы пластин, секторы.

Стекловолокнит. Стекловолокнит это еще одна разновидность волокнитов, получаемая на основе модифицированной фенолоформальдегидной смолы и стекловолокна.

Для получения стекловолокнита стеклянные волокна разрезают на отрезки длиной 2 – 10 см с последующей распушкой. После этого волокно смешивают со смолой в соотношении по массе 100 : (35 – 40). Полученную смесь подвергают повторной распушке на раздирочном станке и сушат на ленточной сушилке [2]. Затем из материала получают дозирующийся (ДСВ) или гранулированный (ГСП) стекловолокнит.

Различают стекловолокниты с беспорядочным (марка АГ-4В) и ориентированным (марка АГ-4С) расположением стекловолокон. Ориентации стекловолокон достигают в результате пропитки и сушки стеклонитей с последующей намоткой образующейся ленты.

Из стекловолокнита прямым или литьевым прессованием изготавливают детали конструкционного и электротехнического назначения, которые могут работать в интервале температур от –196 до 200°С.

Свойства фенопластов с волокнистым наполнителем приведены в табл. 2 [2].

Таблица 2

Физико-механические и диэлектрические свойства фенопластов с волокнистым наполнителем

Свойство	Волокнит	Асбоволокнит	Стекловолокнит	
			АГ-4С	АГ-4В
Плотность, кг/м^3	1400	1950	1700 – 1900	1700 – 1900
Разрушающее напряжение, МПа – при растяжении – при сжатии – при изгибе	45 120 – 145 80 – 90	80 – 100 80 85 – 90	550 – 670 200 450 – 600	57 130 150
Твердость по Бринеллю, МПа	260	300	400 – 450	400 – 450
Теплостойкость по Мартенсу, °С	140	200	280 – 320	280 – 320
Водопоглощение, %	0,2 – 0,3	0,2 – 0,7	0,2	0,2
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц	0,08	0,09	0,05	0,05
Удельное электрическое сопротивление – поверхностное, Ом – объемное, Ом·м	10^{10} 10^{8}	10^{10} 10^{8}	10^{12} $10^{10} – 3·10^{12}$	10^{12} $10^{10} – 3·10^{12}$

Фаолит

Фаолит является разновидностью фенопластов, получаемой на основе жидкой резольной смолы, наполненной кислотостойкими наполнителями [2]: асбестом (марка А) или смесью асбеста с тальком (марка В), графитом (марка Т) или песком (марка П).

Фаолит стоек к воздействию соляной кислоты всех концентраций при различных температурах, серной (концентрацией до 50 %), фосфорной, уксусной и ряду других кислот, но не стоек к действию щелочей, сильных окислителей и горячих спиртов [2].

Из фаолита всех марок выпускают листы, трубы, емкости и колонные аппараты (скрубберы, абсорберы), а из фаолита марки Т с повышенной теплопроводностью – поверхности охлаждения в холодильниках. Из фаолита марок А и В также изготовляют запорную арматуру (вентили, краны и др.).

Изделия из фаолита представлены на рис. 6.

Фаолит всех марок получается по схеме, показанной на рис. 7.

В начале резольную смолу смешивают с асбестом и другими наполнителями, а затем пропускают полученную фаолитовую массу через вальцы. После этого в случае получения листов из массы формуют бесконечную ленту при помощи каландрования, разрезают на листы и нагревают в камере отверждения. Возможно производство сырых (неотвержденных) листов из фаолита [2]. В случае производства труб массу, пропущенную через вальцы, загружают в экструдер, а полученную заготовку нарезают на отдельные трубы и нагревают в камере отверждения. Затем трубы подвергают забуртовке с механической обработкой, лакировкой и повторной термообработкой [2, 3]. Камера отверждения представляет собой аппарат туннельного типа с паровым калорифером. Изделия в вагонетках в течение 30 часов последовательно проходят зоны камеры, в которых температура ступенчато повышается от 60 до 130°С.

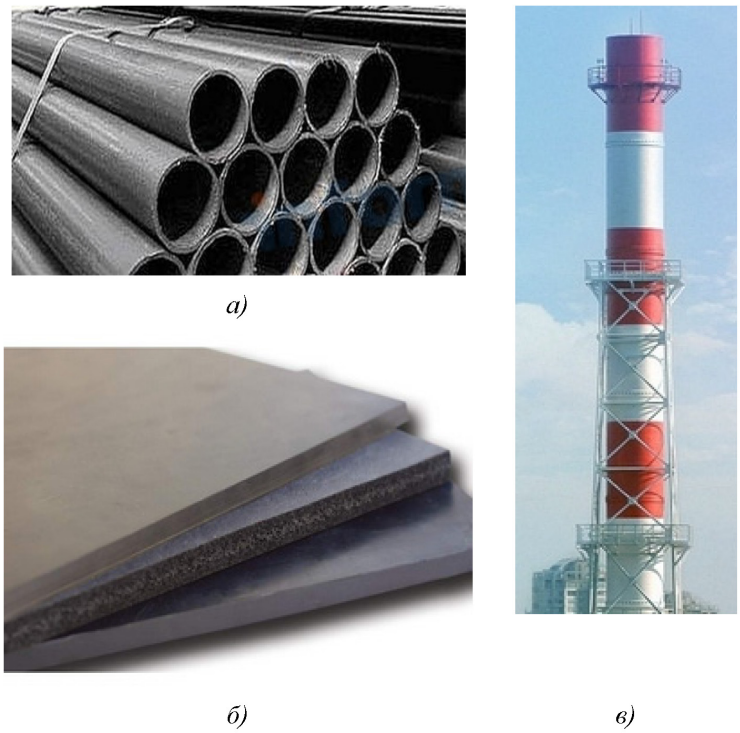


Рис. 6. Изделия из фаолита (а, б) и текстофаолита (в)

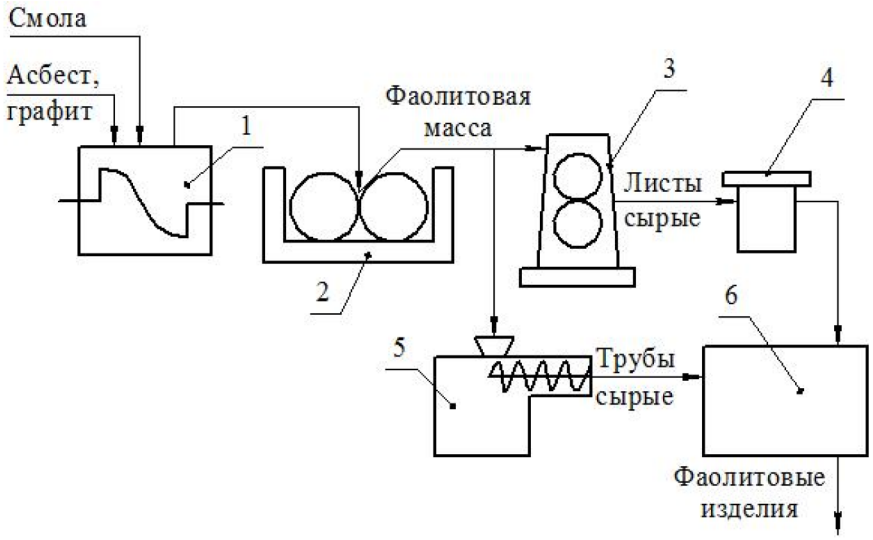


Рис. 7. Технологическая схема производства фаолита и изделий из него:
1 – смеситель; 2 – вальцы; 3 – каландр; 4 – стол; 5 – экструдер; 6 – камера отверждения

Смолы для получения фаолита должны обладать пониженной скоростью отверждения, чтобы избежать отверждения в процессе их переработки на вальцах и в экструдере. Для снижения скорости отверждения смолы синтезируют при уменьшенном содержании катализатора – аммиачной воды.

Свойства фаолита приведены в табл. 3 [2].

Таблица 3

Физико-механические свойства фаолита

Свойство	Значение
Плотность, кг/м^3	1500 – 1600
Разрушающее напряжение, МПа: – при растяжении – при сжатии – при изгибе	 12 – 38,5 58 – 90 26 – 60
Ударная вязкость, кДж/м^2	2 – 6
Твердость по Бринеллю, МПа	200 – 300
Теплостойкость по Мартенсу, ^{o}C	100 – 120

Текстофаолит представляет собой фаолит с использованием плотной хлопчатобумажной ткани (бязи) или стеклоткани в качестве дополнительного наполнителя, что повышает стойкость материала к ударным нагрузкам [10]. Текстофаолит применяют для изготовления царг и труб диаметром более 1 м, которые получают по следующей технологии: вначале обкладывают сырым фаолитом деревянные формы, а затем обматывают заготовку бязью или стеклотканью, пропитанными резольным лаком с концентрацией 20 – 30 %. После испарения растворителя на первый слой ткани накладывают второй слой фаолита, на которой снова наматывают ткань и т.д. При намотке отдельные витки ткани не соприкасаются, чтобы обеспечить контакт слоев фаолита между собой для их склеивания. Полученную заготовку высушивают на воздухе и нагревают в камере отверждения по обычному для фаолита режиму.

Слоистые пластики

Слоистые пластики представляют собой композиционные материалы, в которых в качестве наполнителя применяют параллельно расположенные листы или ленты из различных материалов. Основное назначение слоистых наполнителей аналогично использованию волокон – повышение ударной вязкости и других механических свойств.

В зависимости от природы наполнителя различают три основные группы слоистых пластиков на основе фенолформальдегидных связующих (см. рис. 8).

– текстолиты с тканевыми слоистыми наполнителями. К этой группе относятся асботекстолит и стеклотекстолит, которые как следует из названий получают с использованием асбестовых тканей и стеклотканей;

– гетинаксы с бумажными наполнителями, к которым также относятся фольгированные гетинаксы и асболит;

– древеснослоистые пластики, получаемые с использованием древесного шпона.

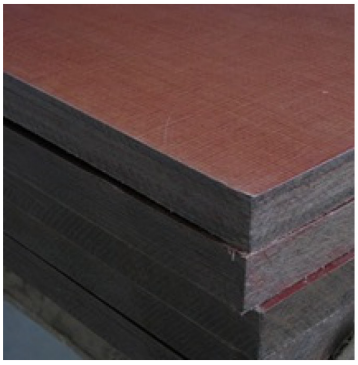
Области применения слоистых пластиков показаны на рис. 9.

Текстолиты

Текстолиты отличаются сочетанием высокой механической прочности, водостойкости, химической стойкости, антифрикционных свойств и легкости. Свойства текстолита зависят от материала ткани, способа плетения и соотношения наполнителя и связующего (обычно 30–45 % смолы). Чем выше удельная прочность ткани и меньше ее толщина, тем выше механическая прочность текстолита, получаемого с ее использованием.

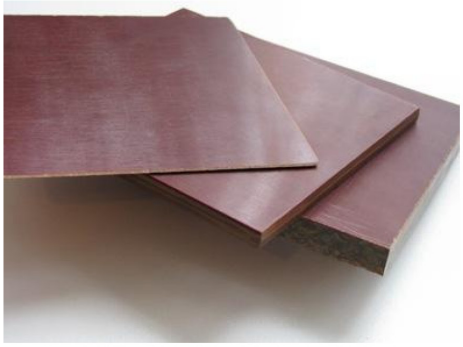
При получении текстолитов стоит учитывать, что ткани имеют неодинаковую прочность в разных направлениях, поэтому чтобы избежать анизотропии свойств слои пропитанной ткани располагают так, чтобы нити их основы были взаимно перпендикулярны [2, 3].

а)



б)

в)



г)

д)

е)

Рис. 8. Слоистые пластики:
а – текстолит; б – асботекстолит; в – стеклотекстолит; г – гетинакс; д – фольгированный гетинакс; е – древеснослоистый пластик

Рис. 9. Изделия из слоистых пластиков:
а – электротехнические изделия (текстолит, стеклотекстолит, ДСП, асболит); б – корпусная мебель и строительство (ДСП); в – фрикционные изделия (текстолит, стеклотекстолит, асботекстолит); г – антифрикционные изделия (текстолит)

В качестве связующего обычно используют эмульсионные резольные смолы и резольные спиртовые лаки с концентрацией 55–60%. Для наполнения текстолитов используют хлопчатобумажные ткани такие как бязь, миткаль или шифон, а также такие синтетические ткани – капрон, нейлон (более правильное название – найлон [2]) и др. Текстолит с использованием капроновых и найлоновых тканей отличается более высокими механическими свойствами, очень низким водопоглощением и малыми диэлектрическими потерями [10]. Кроме того, на его свойства мало влияет относительная влажность воздуха.

При этом в качестве наполнителей используют необработанные ткани, так как обработка ткани снижается свойства текстолита: отбелка снижает прочность, а шлихтовка (проклеивание) затрудняет пропитку ткани смолой [2].

Схема технологического процесса производства текстолита представлен на рис. 10.

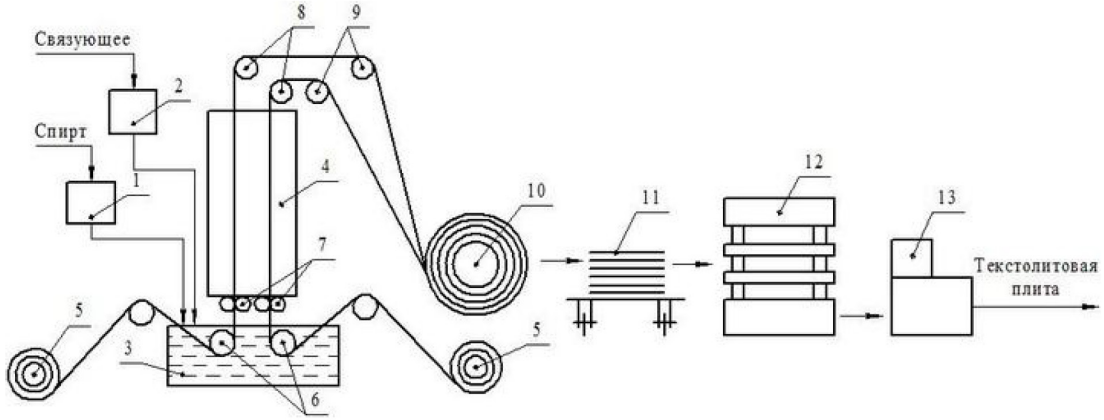


Рис. 10. Технологическая схема производства текстолитовых плит:
1 – напорный бак для спирта; 2 – напорный бак для связующего; 3 – пропиточная ванна; 4 – сушильная шахта; 5 – рулоны исходной ткани; 6, 9 – направляющие валики; 7 – отжимные валики; 8 – натяжные валики; 10 – рулон пропитанной ткани; 11 – стол для набора пакетов; 12 – этажный пресс; 13 – станок для обрезки плит

Исходная ткань с рулонов при помощи направляющих валиков подается в пропиточную ванну в нижней части пропиточно-сушильной машины, наполненную эмульсионной или жидкой смолой, а затем проходит через отжимные валики, которые выравнивают пропитку и удаляют излишки смолы. Ванна обогревается для регулирования вязкости связующего, которое циркулирует между ванной и напорной емкостью. Пропитанная ткань проходит через сушильную шахту пропиточно-сушильной машины, в которой из них удаляются летучие вещества (до содержания 2–4 %) и происходит углубление поликонденсации смолы с образованием около 15 % нерастворимой гель-фракции. Это позволяет избежать вытекания смолы и уменьшает время прессования [2, 10].

Пропитанная и высушенная ткань проходит через натяжные валики и сматывается в рулон вокруг приемного валика, с которого она затем сматывается и нарезается на листы, укладываемые в так называемые пакеты. Пакеты прессуются при давлении 10 – 11 МПа и температуре 160°С на специальных этажных прессах при подаче обогревающего пара. В начале прессования смола за счет нагрева размягчается и склеивает между собой листы ткани в пакете, а в конце прессования переходит в отвержденное состояние – резит. Выдержка при прессовании составляет 4 минуты на 1 мм толщины пакета.

После запрессовки текстолита подачу пара прекращают и внутрь плит пресса подают охлаждающую воду, чтобы избежать коробления плит и появления вздутий при охлаждении на воздухе [12]. Завершающей стадией производства текстолитовых плит является обрезка кромок на специальном станке.

Впоследствии из текстолитовых плит при помощи механической обработки получают машиностроительные и электротехнические детали. Текстолитовые вкладыши подшипников получают цельнопрессованными или изготавливают из плит. Благодаря высоким антифрикционным свойствам текстолитовые вкладыши могут работать без масляной смазки, но при водяном орошении трущихся частей, так как текстолит отличается низкой теплопроводностью. Антифрикционные свойства и теплопроводность графита могут быть повышены добавлением графита к смоле при получении текстолита [2].

Асботекстолит и асболит. Асботекстолит является фенопластом, в котором наполнителем является асбестовая ткань. Получают асботекстолит по технологии, аналогичной обычным текстолитам на основе тканей, но ткань подается с меньшей скоростью, содержание смолы в ней достигает 40 – 50 %, а прессование проводят при температурах 150–160°С. При этом в начале прессования давление составляет 1,5 МПа, а после нагрева материла до 150°С давление повышают до 10 МПа. Время выдержки при прессовании зависит от толщины пакета и составляет от 3 минут для пакетов толщиной 2 мм до 135 минут при толщине пакетов 12 мм.

После прессования асботекстолитовые плиты охлаждают до 40–50°С без снятия нагрузки, а затем выгружают [2].

Асботекстолит отличается высокими фрикционными свойствами и теплостойкостью, однако уступает по механическим свойствам текстолиту. Высокая стоимость и дефицитность длинноволокнистого асбеста ограничивают область применения асботекстолита, из которого производят тормозные колодки, ленты и диски сцепления.

Асболит является фенопластом, в котором наполнителем являются асбестовая бумага или асбокартон. Асбокартон дешевле асбестовой бумаги, однако обладает меньшей механической плотностью и меньшей длиной волокон, что затрудняет пропитку.

Асболит применяют для изготовления деталей низковольтных установок, распределительных щитков, прокладочных и упорных колодок для турбогенераторов и трансформаторов [12].

Стеклотекстолит получают при наполнении фенолформальдегидного связующего стеклотканью. Наряду с резольными смолами применяют фенолформальдегидные смолы, модифицированные термопластами, например, поливинилбутиралем, эпоксиднофенольные и фурфуролоформальдегидные смолы [2]. Стеклотекстолит отличается очень высокими электроизоляционными и механическими свойствами. Для дополнительного повышения прочности стеклоткань в процессе изготовления пропитывают смолой и обрабатывают аппретами (в основном кремнийорганическими соединения).

Получают листовой и плиточный стеклотекстолит при содержании связующего в количестве 30 – 40 % по технологии, аналогичной процессу получения обычного текстолита. Так как стеклоткань снижает теплопроводность материала при прессовании стеклотекстолита применяют дополнительную термообработку готовых изделий при 180 –200°С.

Изделия из стеклотекстолита получают механической обработкой на фрезерных или токарных станках, а цельнопрессованные детали – в пресс-формах, в которые закладывается пропитанная ткань. Промышленность выпускает стеклотекстолит в основном конструкционного и электротехнического назначения.

Гетинакс

Гетинакс является слоистым пластиком на основе фенолфомальднгидной смолы с бумажным наполнителем. По свойствам он схож с текстолитом, но превосходит его по диэлектрическим свойствам особенно во влажной атмосфере, хотя и уступает по прочности на скалывание и ударной вязкости.

Технология получения гетинакса также во многом похожа на технологию изготовления текстолита (см. рисунок 11). Для пропитки бумаги водоэмульсионными смолами применяют горизонтальные пропиточные машины, так как на вертикальных машинах возможен обрыв мокрой бумаги под собственной тяжестью. Скорость движения бумаги по горизонтальной шахте составляет около 10 м/мин, а температура сушки составляет 120 °С. Высушенную бумагу наматывают в рулон, который на бумагорезательной машине нарезают на листы, которые затем складывают в пакеты. Перед прессованием пакеты подсушивают, так как пропитанная бумага обладает гигроскопичностью, а затем формуют на этажных прессах в листы или плиты. На трубонамоточных машинах из пропитанной бумаги получают трубы [2].

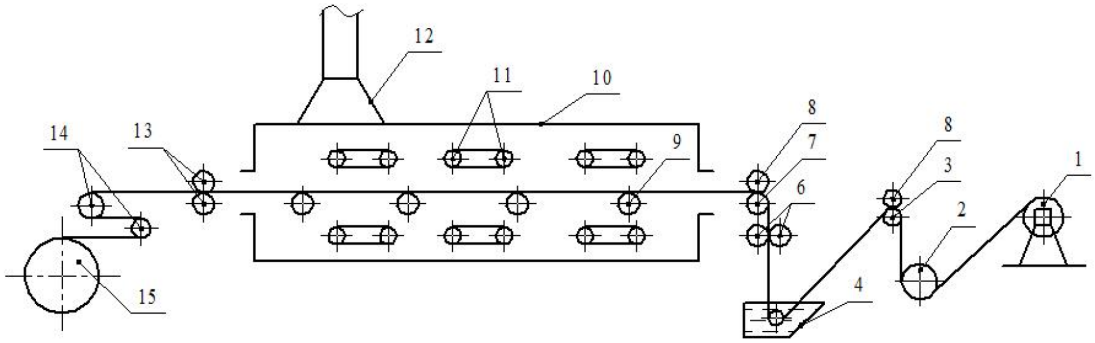


Рис. 11. Схема горизонтальной пропиточно-сушильной машины:
1 – рулон наполнителя; 2 – сушильный барабан; 3,7 – направляющие ролики;
4 – пропиточная ванна; 5 – направляющий валик; 6 – отжимные валики; 8 – прижимные валики;
9 – поддерживающие ролики; 10 – сушильная камера; 11 – обогревающие трубы; 12 – вытяжной зонт; 13 – ведущие валики; 14 – натяжные валики; 15 – рулон наполнителя, пропитанного связующим

Гетинакс применяется для изготовления электроизоляторов, пластинчатых и трубчатых панелей, изолирующих шайб, труб и цилиндров.

Фольгированные слоистые пластики

К фольгированным слоистым пластикам относятся текстолит, стеклотекстолит и гетинакс, покрытые с одной или двух лицевых сторон электролитической медной оксидированной фольгой. Для приклеивания фольги используют клеевые композиции с хорошей термостойкостью и высокой адгезией к слоистым пластикам. Наиболее широко применяется фенольнополивинилбутиральный клей БФ-4, в ряде случаев наполненный мелкодисперсным кварцем [10].

Технология получения фольгированных слоистых пластиков в общем аналогична процессам производства текстолитов и гетинакса [12]. Применяются фольгированные слоистые пластики для изготовления печатных плат радиоприемных устройств, электронно-вычислительных машин и т. д. [2].

Лакированная бумага

Лакированная бумага представляет собой бумагу, которая с одной стороны пропитана фенолформальдегидной смолой. Односторонняя пропитка (лакировка) бумаги осуществляется на лакировальных машинах, которые во многом похожи на горизонтальные пропиточно-сушильные машины (см. рис. 12).

Лакировка происходит при контакте бумаги с верхним лакирующим валиком, который смазывается смолой от нижнего, погруженного в пропиточную ванну. Толщина наносимого слоя связующего зависит от глубины погружения в ванну нижнего валика. При этом скорость движения бумаги меньше скорости вращения лакирующего валика, что обеспечивает равномерную и полную лакировку. При сушке поддерживающие валики располагаются только с непропитанной стороны бумаги, чтобы не происходило прилипания лака.

Лакированную бумагу выпускают в виде рулонов и применяют для изготовления электроизоляционных материалов методом прессования, а также катушек емкостных колец и других деталей электрических аппаратов с масляным заполнением.

Древеснослоистые и древесно-наполненные пластики

Древеснослоистые пластики (ДСП или фанера) относятся к фенопластам на основе резольных смол, в которых наполнителем является древесный шпон – тонкие пластины из древесины толщиной 0,5 – 1,2 мм.

Получают ДСП по технологии сходной с получением текстолитов. На начальном этапе производства древесный шпон в основном пропитывают в ваннах или автоклавах, а иногда проводят промазку на клеевых вальцах. Затем пропитанный шпон высу-

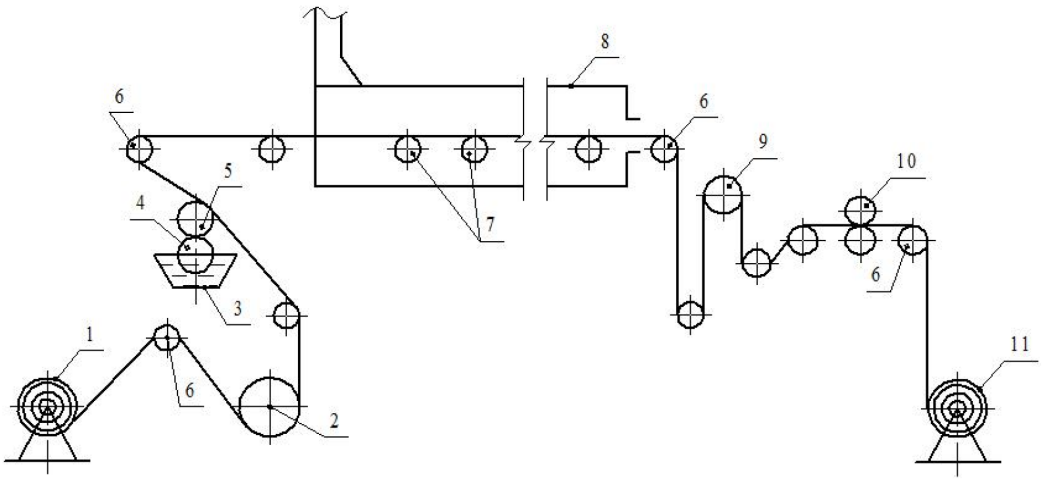


Рис. 12. Схема машины для лакировки бумаги:
1 – рулон непропитанной бумаги; 2 – сушильный барабан; 3 – ванна с лаком; 4 – погружной валик; 5 – лакирующий валик; 6 – направляющие валики; 7 – поддерживающие валики; 8 – сушильная камера; 9 – ведущий вал; 10 – дисковые ножи; 11 – рулон лакированной бумаги

шивают в туннельных сушилках, собирают в пакеты и прессуют на этажных прессах.

В зависимости от порядка сборки пакетов, который определяет механические свойства материала, различают следующие марки ДСП:

– марка ДСП-А характеризуется таким расположением слоев шпона, чтобы волокна в них были параллельны друг другу. Такое расположение позволяет максимально повысить прочность в одном направлении, что требуется для валков, вкладышей подшипников, подъемных устройств;

– марка ДСП-Б, при сборке пакетов для которой через каждые10–20 листов с параллельным расположением волокон укладывают один лист, в котором волокна расположены перпендикулярно волокнам соседних листов;

– марка ДСП-В характеризуется тем, что волокна в соседних слоях шпона расположены перпендикулярно друг другу. Это позволяет исключить анизотропию механических свойств;

– марка ДСП-Г характеризуется таким расположением слоев шпона, при котором волокна в соседних слоях расположены под углом 45° друг к другу. Это позволяет добиться максимально одинаковой прочности во всех направлениях.

Благодаря высоким механическим свойствам ДСП широко применяется в машино-, авиа- и судостроении, в электротехнической и химической промышленностях, успешно заменяя цветные металлы, дорогую высококачественную древесину и текстолит. Из ДСП изготавливают детали, работающие при значительных механических усилиях, например, мешалок в химических аппаратах. Также ДСП эффективно используется для производства бесшумных шестерен, валков и челноков ткацких станков, подшипников в прокатных станах, а также в узлах трения гидротехнических сооружений, различных механизмов и установок. Плиты и листы ДСП благодаря прочности, стойкости к гниениюи гигиеничности широко применяются для сборных домов, при отделочных работах и в производстве корпусной мебели [1, 2, 10]. Кроме того, ДСП с использованием модифицированных резольных смол успешно применяется для изготовления крупногабаритных изделий формованием при низком давлении [2].

Широкое распространение в строительстве и при изготовлении корпусной мебели получили так называемые древесно-наполненные пластики, среди которых наиболее часто используются древесностружечные (ДСтП) и древесноволокнистые (ДВП) плиты (см. рисунок 13, а и б). ДСтП представляет собой материал, в котором наполнителем являются отходы древесины в виде стружек, мелкой щепы и опилок, которые подсушивают до влажности 7 –8 % и смешивают с водной эмульсией смолы, взятой в количестве 7–12 % от массы сухой древесины. Для повышения водостойкости ДСтП в ее состав вводят гидрофобные вещества, такие как парафиновые эмульсии. Пропитанные древесные отходы загружаются в лотки, уплотняются при помощи пресса без нагревания, а затем формуются в плиты на этажных прессах при давлении 1,5–3,5 МПа и температуре до 190°С.

По аналогии со стекловолокнитом возможен выпуск плит, в которых стружка ориентирована в каждом слое в разных направлениях – ориентированно-стружечные плиты (ОСП). Также по аналогии с другими волокнитами производят ламинированные древесно-стружечные плиты (ЛДСП, рис. 13, в)

Для изготовления ДВП древесные отходы вначале пропаривают и дробят в водной среде. Полученную древесную массу смешивают со связующим, уплотняют и прессуют на этажных прессах. В зависимости от плотности ДВП разделяют на сверхтвердые (до 1100 кг/м^3), твердые (около 850 кг/м^3), полутвердые (600 – 800 кг/м^3) и мягкие (100 – 400 кг/м^3). Кроме того, широко распространена такая разновидность ДВП как МДФ (мелкодисперсная фракция дерева) плиты и панели плотностью 600 – 850 кг/м^3.

Значительно менее распространенным видом древесных плит являются древесно-корьевые плиты (ДКП), в которых в качестве наполнителя используют отходы коры.

Свойства различных видов слоистых пластиков приведены в табл. 4 [2].

Пенофенопласты и сотофенопласты

Пенофенопласты (рис. 14, а) представляют собой газонаполненные полимеры на основе фенольных смол. Эти материалы получают двумя способами – беспрессовым и заливочным. По беспрессовому способу сухую НС смешивают в шаровой мельнице с газообразователем и отвердителем. В качестве газообразователя чаще всего применяют динитрилазобисизомасляную кислоту, а в качестве отвердителя – уротропин. Часто для снижения хрупкости в полученную порошкообразную смесь на вальцах вводят бутадиен-нитрильный каучук.

Примерная рецептура трех марок пенофенопластов приведена в табл. 5 [2].

Рис. 13. Разновидности древеснослоистых пластиков:
а – древесностружечная плита (ДСтП); б – древесноволокнистая плита (ДВП);
в – ламинированный древеснослоистый пластик (ЛДСП)

Таблица 4

Физико-механические и диэлектрические свойства слоистых пластиков

Свойство	Гетинакс	Текстолит	Асботекстолит	Стеклотекстолит	ДСП
Плотность, кг/м^3	1280 – 1450	1200 – 1450	1300 – 1700	1600 – 1900	1230 – 1300
Разрушающее напряжение, МПа: – при растяжении – при сжатии – при изгибе	 60 – 98 140 – 250 60 – 100	 50 – 100 120 – 150 90 – 150	 – – 80 – 110	 50 – 320 90 – 170 95 – 350	 100 – 180 84 – 280 100 – 260
Ударная вязкость, кДж/м^2	4 – 20	10 – 50	25 – 35	20 – 200	17 – 80
Твердость по Бринеллю, МПа	220 – 350	250 – 280	260 – 390	300 – 450	200
Теплостойкость по Мартенсу, °С	150 – 160	110 – 140	250	180 – 225	120 – 150
Водопоглощение, %	0,5 – 0,7	0,8 – 2,0	0,5 – 2,0	0,8 – 3,0	1,0 – 3,0
Электрическая прочность, МВ/м	15 – 25	5 – 10	–	10 – 25	–
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц	0,04 – 0,15	0,02 – 0,07	–	0,03 – 0,05	0,1
Удельное электрическое сопротивление – поверхностное, Ом – объемное, Ом·м	 10^{10}–10^{11} 10^8 – 10^{10}	 10^{10} – 10^{11} 10^7 – 10^9	 – –	 10^{11} – 10^{13} $5{\cdot}10^8$ – 10^{11}	 10^{11} 10^9

Таблица 5

Рецептура пенофенопластов (масс. ч.)

Материал	ФФ	ФК-20	ФК-40
Новолачная смола	100	100	100
Уротропин	10	10	10
Каучук	–	20	40
Сера	–	0,6	1,2
Динитрилазобисизомасляная кислота	1 – 2	2 – 5	3 – 7

Полученную массу измельчают, загружают в форму и нагревают. При нагреве до 80–90°С НС размягчается, а при 90–110°С происходит разложение газообразователя и вспенивание массы с образованием пенофенопласта. Свойства получаемых пенофенопластов приведены в табл. 6 [2].

Сотофенопласты (см. рис. 14, б) являются полимерными материалами структура которых представляет собой упорядоченно чередующиеся ячейки различной формы: шестигранной, квадратной, прямоугольной или др. Сотофенопласты применяют в качестве заполнителя в многослойных (обычно трехслойных) панелях с наружными несущими обшивками из листов металла, слоистого пластика, фанеры и т.д. [2, 9].

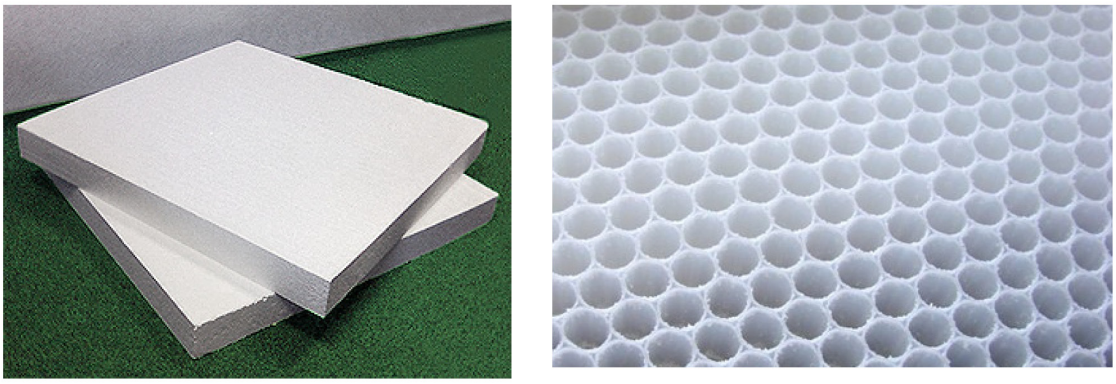
Таблица 6

Свойства пенофенопласта

Свойство	ФФ	ФК-20, ФК-40
Кажущаяся плотность, кг/м^3	190 – 230	180 – 230
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	2 – 4	0,4 – 2
Ударная вязкость, кДж/м^2	0,2	0,8 – 2,2

По заливочному методу жидкую РС смешивают со вспенивающим и отверждающим агентами наливают на движущуюся бесконечную ленту, на которой происходит вспенивание и отверждение пенофенопласта на холоду или при нагреве. В качестве вспенивающего агента применяют легкокипящие жидкости, а в качестве отверждающего агента – смесь соляной и фосфорной кислот с мочевиной [1, 2].

Сотофенопласты получают с использованием бумаги, хлопчатобумажной или стеклянной ткани в качестве наполнителя. Ткань пропитывают раствором РС, высушивают, а затем гофрируют в пресс-формах открытого типа при небольшом давлении и таком температурно-временном режиме,



а) *б)*

Рис. 14. Внешний вид пенофенопластов (а) и сотофенопластов (б)

чтобы степень отверждения связующего составила 80 – 85 % [10]. Полученные гофрированные заготовки укладывают одну на другую в специальном приспособлении так, чтобы образовались сотовые ячейки. Затем заготовки сваривают между собой в поле токов высокой частоты за счет диэлектрического нагрева. Полученный блок нагревают для окончательного отверждения связующего, а после охлаждения разрезают на листы требуемой толщины, к которым приклеивают несущую обшивку [2].

Пенофенопласты и сотофенопласты применяют в качестве конструкционных, отделочных, тепло- и звукоизоляционных материалов в строительстве, авиа- и судостроении, при постройке космических кораблей и для других назначений.

Прочие области использования

Абразивные материалы. Фенолформальдегидные смолы (ФФС) и композиции на их основе широко применяются для производства абразивных материалов со связующим, к которым относятся шлифовальные диски (см. рис. 15, а), обдирочные шлифовальные круги, и круги для отделочного шлифования, и абразивных тканей, например, наждачной бумаги. В производстве абразивных материалов в качестве связующего используется смесь НС и РС в различных соотношениях – от 2:1 до 3:1. При производстве абразивные материалы в виде зерен или порошка закрепляют на круге или формуют из них круги и бруски при помощи связующего. Изготавливают также притирочные и полировальные абразивы в виде пасты со связующим. Для производства абразивной ткани, например, наждачной бумаги используются РС [14]. Также для получения абразивных материалов широко используется пульвербакелит – измельченная смесь НС с уротропином.

К основным преимуществам использования фенольных связующих в производстве синтетических абразивных материалов относятся получение более активного покрытия, хороший съем припуска обработки, препятствие перегреву абразива, высокий срок службы абразива [14].

Лакокрасочные покрытия. Бакелитовые или резольные лаки в сочетании с этиловым спиртом и некоторыми углеводородами образуют покрытия, отличающиеся высокой твердостью, хорошими электроизоляционными свойствами, водостойкостью, стойкостью к маслам, кислотам, солям и органическим растворителям. Однако образуемые покрытия обладают плохой адгезией к металлам, хрупкостью, низкой стойкостью к щелочам и окислителям, отличаются темным цветом. Хрупкость таких покрытий может быть снижена при пластификации лаков фталатами [14]. Лаки, получаемые на основе НС и спиртовых растворителей, применяют вместо шеллачных при отделке изделий из дерева, но такие лаки мало распространены из-за того, что покрытия на их основе темнеют на свету.

ФФС, пластифицированные растительными маслами широко применяются в качестве основы консервных лаков и используются для нанесения покрытий, эксплуатируемых в тропическом климате. Растворителями в этих композициях являются сольвент-нафта, уайт-спирит, скипидар. Водоразбавляемые лакокрасочные материалы на основе ФФС (рис. 15, б) применяют для нанесения антикоррозионных покрытий [14].

Конструкционные клеи (см. рис. 15, в) изготавливаются на основе продуктов взаимодействия ФФС с каучуками, которые отличаются эластичностью, теплостойкостью и хорошими адгезионными свойствами. Эти клеи состоят из двух компонентов, смеши-

а) *б)* *в)*

Рис. 15. Области применения фенололформальдегидных смол:
а – абразивные материалы; б – лакокрасочные материалы; в – конструкционные клеи

ваемых перед употреблением. Различают высокотемпературные клеи, и клеи, работающие при обычной температуре. Получаемые с их помощью клеевые соединения обладают высокой прочностью при неравномерном отрыве.

Применяются эти клеи при фольгировании материалов, для склеивания между собой металлов, стеклопластиков, металлов и стеклопластиков, а также других матеиалов, применяемых в строительстве и машиностроении.

Огнеупорные материалы. В производстве кирпичей из формованных огнеупоров, к которым относятся периклазоуглеродистые, корундовые, доломитовые, силикатные и др., в основном используются растворы и расплавы НС, а также пульфербакелит, который является смесью измельченной НС с уротропином. В производстве неформованных огнеупоров НС используются не так широко. РС и композиции на их основе также используются в производстве огнеупоров. При этом НС используются в основном при среднетемпературном процессе, а в случае холодного смешения растворы НС и РС [14].

Другие области применения. ФФС и композиции на их основе применяют при изготовлении оболочковых форм, стержней и скорлуп для литейной промышленности. Пластгипс на основе водоэмульсионной ФФС применяют в гончарной промышленности при изготовлении форм для черепицы, что позволяет повысить прочность при растяжении, износостойкость и в целом повышает срок службы форм.

ФФС и композиции на их основе широко применяют в строительстве. Тонкий слой пластомера превосходит цементный раствор по надежности соединения материалов, эластичности и отношению прочности при растяжении к прочности при сжатии. Пластобетоны на основе ФФС обладают малой плотностью и высокой прочностью при растяжении, с успехом применяются для изготовления плит монтажных перекрытий.

Заключение

Как следует из представленной информации, ФФС и композиции на их основе по-прежнему остаются одними из самых широко применяемых в самых различных областях человеческой деятельности. Причем в большинстве случаев они выступают в качестве связующих для получения ПКМ.

С одной стороны, эффективность использования ФФС и композиции на их основе заключается в том, что они обладают преимуществами, характерными для большинства пластмасс и связанными с уменьшением затрат на сырьевые и энергетические ресурсы при производстве материалов и изделий. Так, на производство и переработку пластмасс требуется нефти, как энергетического сырья, в 5 раз меньше, чем для того же количества алюминия, и в 3 раза меньше, чем для жести [7].

С другой стороны, широкому распространению способствуют такие преимущества как легкость в сочетании с высокими механическими характеристиками (за исключением хрупкости) и долговечностью, которые характерны для материалов и изделий, получаемых с использованием ФФС и композиций на их основе.

Список литературы

1. Бахман А., Мюллер К. Фенопласты / А. Бахман, К. Мюллер; пер. с нем. Л.Р. Вин, В.Г. Гевита. – М.: Химия, 1978. – 288 с.

2. Брацыхин Е.А., Шульгина Э.С. Технология пластических масс: учеб. пособие для техникумов / Е.А. Брацыхин, Э.С. Шульгина. – 3–е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.

3. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. и др. Основы технологии переработки пластмасс / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев – М.: Химия, 2004 – 600 с.

4. ГОСТ 28804–90. Массы формовочные фенольные. Общие технические условия [Текст]. –Введ. 1992–01–01. – М.: Стандартинформ, 2007 – 12 с.

5. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты / З.А. Кочнова, Е.С, Жаворонок, А.Е. Чалых – М.: ООО “Пэйнт-Медиа”, 2006. – 200 с.

6. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.

7. Кутянин Г.И. Пластические массы и товары бытовой химии / Г.И. Кутятин. – М.: Химия, 1982. – 186 с.

8. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы / Ю.А. Михайлин – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.

9. Никифоров В.М. Технология металлов и других конструкционных материалов / В.М. Никифоров. – 9–е изд., стер. – СПб.: Политехника, 2009 – 382 с.

10. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии / под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2009. – 560 с.

11. Технология важнейших отраслей промышленности: Учебник / под ред. Гинберга А.М., Хохлова Б.А. – М.: Высшая школа.,1985. – 496 с.

12. Технология пластических масс / под. ред. В.В. Коршака – 3–е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 560 с.

13. Энциклопедия полимеров. Том 3 / под ред. В.А. Кабанова – М.: Советская энциклопедия, 1977. – 1152 с.

14. Новолачные смолы и пульвербакелит: свойства и области использования [Электронный ресурс] // Аналитический портал химической промышленности «Новые химические технологии». – URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=1722 (дата обращения 26.06.2017).