

ISSN 2227—1384

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПРИАМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА»



ВЕСТНИК

ПРИАМУРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМ. ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

*основан в 2008 году
выходит четыре раза в год*

№ 1(26) 2017

MINOBRNAUKI ROSSII
(THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE RUSSIAN FEDERATION)

Federal'noe gosudarstvennoe biudgetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego obrazovaniya
«PRIAMURSKII GOSUDARSTVENNYI UNIVERSITET IMENI SHOLOM-ALEICHEMA»

(Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«SHOLOM-ALEICHEM PRIAMURSKY STATE UNIVERSITY»)



VESTNIK
PRIAMURSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
UNIVERSITETA IMENI SHOLOM-ALEICHEMA
(SHOLOM-ALEICHEM PRIAMURSKY STATE
UNIVERSITY BULLETIN)

NAUCHNO-OBRAZOVATEL'NYI ZHURNAL
(SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL JOURNAL)

osnovan v 2008 godu
vykhodit chetyre raza v god

(founded in 2008
is issued four times a year)

№ 1(26) 2017

УЧРЕДИТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Н. Г. Баженова, кандидат педагогических наук, доцент — главный редактор,
П. Н. Толстогузов, доктор филологических наук, профессор — зам. главного редактора,
В. В. Николаева — ответственный секретарь.

Н. М. Байков, доктор социологических наук, профессор (Хабаровск, Россия),
С. В. Березницкий, доктор исторических наук, профессор (Санкт-Петербург, Россия),
И. М. Воротилкина, доктор педагогических наук, профессор (Биробиджан, Россия),
В. Л. Земляк, кандидат физико-математических наук (Биробиджан, Россия),
Е. О. Клинская, кандидат биологических наук, доцент (Биробиджан, Россия),
В. М. Козин, доктор технических наук, профессор (Комсомольск-на-Амуре, Россия),
О. Л. Коноваленко, кандидат юридических наук, доцент (Биробиджан, Россия),
Б. М. Котлерман, доктор философии (PhD), профессор (Рамат-Ган, Израиль),
В. И. Пятак, кандидат философских наук, доцент (Биробиджан, Россия),
Б. Е. Фишман, доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор (Биробиджан, Россия),
Е. Я. Фрисман, член-корреспондент Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор (Биробиджан, Россия),
О. Е. Шаповалова, доктор психологических наук, профессор (Биробиджан, Россия),
В. Г. Шведов, доктор географических наук, доцент (Биробиджан, Россия),
В. Т. Шишмаков, доктор экономических наук, профессор (Хабаровск, Россия).

Ответственный за номер — к. ф.-м. н. В. Л. Земляк

Литературный редактор — к. филол. н. Л. Н. Капуцына, редактор английских текстов — М. П. Березань, технический редактор — В. В. Николаева

Адрес в Интернете: <http://pgusa.ru/ru/vestnik>

Адрес редакции: 679015, г. Биробиджан, ул. Широкая, 70-А. Тел. 4-63-69, e-mail: bir.izdatel@gmail.com

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-66783.

Полное или частичное воспроизведение материалов допускается только с разрешения редакции.
Ссылка на журнал обязательна.

Подписано в печать 27.03.2017. Формат 70×100 ¹/₁₆. Бумага офисная.
Усл. печ. л. 8,125. Уч.-изд. л. 7,57. Тираж 500 экз. Заказ № 37/2017

Издательский центр Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема
679015, г. Биробиджан, ул. Широкая, 70-А

Отпечатано в типографии Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема
679015, г. Биробиджан, ул. Широкая, 70-А

PARENT ORGANIZATION

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Sholom-Aleichem Priamursky State University»

EDITORIAL BOARD

N. G. Bazhenova, PhD (pedagogics), associate professor — Editor-in-Chief,
P. N. Tolstoguzov, DSc (philology), full professor — Deputy Editor-in-Chief,
V. V. Nikolayeva — Executive Secretary.

N. M. Baykov, DSc (sociology), full professor (Khabarovsk, Russia),
S. V. Bereznitskiy, DSc (history), full professor (Saint-Petersburg, Russia),
I. M. Vorotilkina, DSc (pedagogics), full professor (Birobidzhan, Russia),
V. L. Zemlyak, PhD (physical and mathematical), associate professor (Birobidzhan, Russia),
E. O. Klinskaya, PhD (biology), associate professor (Birobidzhan, Russia),
V. M. Kozin, DSc (engineering), full professor (Komsomolsk-na-Amure, Russia),
O. L. Konvalenko, PhD (science of law), associate professor (Birobidzhan, Russia),
B. M. Kotlerman, PhD (study of culture), full professor (Ramat-Gan, Israel),
V. I. Pyatak, PhD (philosophy), associate professor (Birobidzhan, Russia),
B. E. Fishman, DSc (pedagogics), full professor (Birobidzhan, Russia),
E. Ya. Frisman, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, DSc (biology),
full professor (Birobidzhan, Russia),
O. E. Shapovalova, DSc (psychology), full professor (Birobidzhan, Russia),
V. G. Shvedov, DSc (geography), associate professor (Birobidzhan, Russia),
V. T. Shishmakov, DSc (economics), full professor (Khabarovsk, Russia).

Executive Editor — V. L. Zemlyak, PhD (physical and mathematical)

Text Editor — L. N. Kaputsina (PhD, philology), Editor of English text — M. P. Berezan,
Technical Editor — V. V. Nikolayeva.

Internet address: <http://pgusa.ru/en/vestnik>

Editorial Office address: 679015, Russian Federation, Birobidzhan (city), Shyrokaya st., 70-A.
Phone: (42622) 4-63-69, e-mail: bir.izdatel@gmail.com

The journal is registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom,
Information Technologies and Mass Communications (ROSKOMNADZOR).
Certificate of registration PI # FS 77-66783

Total or partial reproduction of the journal materials without permission of the publisher is prohibited.
Links to the journal is obligatory.

Signed for print 27.03.2017. Format 70×100 ¹/₁₆. Office paper.
Conv. printer's sheet 8,125. Publish. sheet 7,57. Number of copies 500. Order № 37/2017

Publishing Centre of Sholom-Aleichem Priamursky State University
679015, Birobidzhan (city), Shyrokaya st., 70-A

Printed in printing office of Sholom-Aleichem Priamursky State University
679015, Birobidzhan (city), Shyrokaya st., 70-A

Содержание

СТАТЬИ.....	9
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	9
Власьевский С. В., Малышева О. А., Грибенюк Д. В. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА КОЛЛЕКТОРНОГО И АСИНХРОННОГО ПРИВОДА.....	9
Игнатенко И. В., Власенко С. А., Кавлак Р. С. ОЦЕНКА ПЕРЕХОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАЩЕЧНОГО БОЛТОВОГО ЗАЖИМА.....	21
Бай Сяолун, Земляк В. Л., Баурин Н. О., Рогожникова Е. Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАТОРОШЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ПАРАМЕТРЫ ИЗГИБНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОГРУЖЁННОГО ТЕЛА.....	28
Канделя М. В., Земляк В. Л. УСТАНОВКА МОБИЛЬНАЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГОЛОЛЁДА С ПРОВОДА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	39
Канделя М. В., Канделя Н. М. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ.....	45
Канделя М. В., Канделя Н. М. РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ	55

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	63
Резниченко А. Ю., Эйрих Н. В. ВЫЧИСЛЕНИЕ МОНТАЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ MARLE	63
Ковалев П. А., Веселова Е. М. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КЕРАМИКИ Al_2O_3 -TiC ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	71
Васильев А. С., Бойчин Р. Е., Земляк В. Л. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ВЫСТУПА КОЛОННЫ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ	79
Тарануха Н. А. Васильев А. С. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	90
Ипатов К. И., Земляк В. Л., Козин В. М., Васильев А. С. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕГО ДВИЖУЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ	103
Смирнова А. С., Чепулаев Н. В. СОЗДАНИЕ КЛИЕНТСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПО КОМБИНИРОВАНИЮ МЕНЮ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ ДОШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	114
СООБЩЕНИЯ	121
Толстогузов П. Н. МУХА В ГОГОЛЕВСКОМ ТЕКСТЕ	121
Порядок публикации статей в журнале	126

Contents

ARTICLES	9
TECHNICAL SCIENCE	9
Vlasyevsky S. V., Malysheva O. A., Gribenyuk D. V. COMPARATIVE OPPORTUNITIES OF USE ON ELECTRIC LOCOMOTIVES OF THE COLLECTOR AND ASYNCHRONOUS DRIVE.....	9
Ignatenko I. V., Vlasenko S. A., Kavlak R. S. ESTIMATION OF TRANSITIONING ELECTRICAL RESISTANCE OF A BOLT CLAMP	21
Bai Xiaolong, Zemlyak V. L., Baurin N. O., Rogozhnikova E. G. THE RESEARCH OF INFLUENCE OF HUMMOCKED ICE ON THE PARAMETERS OF FLEXURAL-GRAVITY WAVES FROM THE SUBMERGED BODY MOVEMENT.....	28
Kandelya M. V., Zemlyak V. L. INSTALLATION MOBILE REMOVAL OF ICE WITH WIRE LINES	39
Kandelya M. V., Kandelya N. M. INCREASE OF EFFICIENCY OF PRODUCTION OF GRAINED CROPS IN THE FAR EASTERN REGION	45
Kandelya M. V., Kandelya N. M. DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL POWER FACILITY ON CATERPILLAR TRACKS.....	55

PHYSICO-MATHEMATICAL SCIENCES.....	63
Reznichenko A. Yu., Eyrikh N. V. CALCULATION OF MOUNTING STRESSES IN ROD SYSTEMS BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS IN THE MAPLE SYSTEM	63
Kovalev P. A., Veselova E. M. COMPUTER SIMULATION OF CHANGES IN TEMPERATURE CERAMIC Al_2O_3 -TiC UNDER THE INFLUENCE OF LASER RADIATION	71
Vasiliev A. S., Bojchin R. E., Zemliak V. L. NUMERICAL SIMULATION AND CALCULATION OF COLUMN PROTRUSION IN MODERN SOFTWARE SYSTEMS	79
Taranukha N.A., Vasiliev A. S. NUMERICAL RESEARCH THE CONSTRUCTION OF A HETEROGENEOUS ENVIRONMENT BASED ON THE FINITE ELEMENT METHOD	90
Ipatov K. I., Zemliak V. L., Kozin V. M., Vasiliev A. S. THE RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE OF ICE COVER FROM THE IMPACT OF A MOVING LOAD	103
Smirnova A. S., Chepulaev N. V. CREATION OF A CLIENT SUPPLEMENT TO COMBINE THE MENU FOR PRE-SCHOOL EDUCATION ESTABLISHMENTS.....	114
MESSAGES	121
Tolstoguzov P. N. THE FLY IN GOGOL'S TEXT	121
PROCEDURE FOR THE PUBLICATION OF ARTICLES IN THE JOURNAL.....	126

СТАТЬИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 629.423.1

С. В. Власьевский, О. А. Малышева, Д. В. Грибенюк

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА КОЛЛЕКТОРНОГО И АСИНХРОННОГО ПРИВОДА

В статье рассмотрены достоинства и недостатки коллекторного и асинхронного двигателей электровозов переменного тока в режиме тяги путём рассмотрения их тяговых характеристик и характеристик мощности. Дана сравнительная оценка их свойств. Показано влияние тяговых характеристик на характеристики мощности, а следовательно, и на расход электроэнергии в режиме тяги. Раскрыто поведение коллекторного и асинхронного двигателей на границе сцепления колеса с рельсом при возникновении буксования колёсных пар и влияние на этот процесс жёстких и мягких тяговых характеристик. Проведён сравнительный анализ всех видов влияний характеристик на энергетическую эффективность электровозов переменного тока с коллекторным и асинхронным приводами.

Ключевые слова: электровоз, режим тяги, электрический привод, тяговые характеристики, характеристики мощности, расход электроэнергии, буксование колёсных пар относительно рельсов.

Введение

При вождении на железных дорогах грузовых поездов большой массы и длины остро стоит проблема повышения надёжности, безопасности и энергоэффективности электровозов и, в частности, электровозов пере-

Власьевский Станислав Васильевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электротехники, электроники и электромеханики (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск); e-mail: vlas@festu.khv.ru.

Малышева Ольга Александровна — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники, электроники и электромеханики (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск); e-mail: zavkaf@festu.khv.ru.

Грибенюк Денис Владимирович — аспирант кафедры электротехники, электроники и электромеханики (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск); e-mail: ele@festu.khv.ru.

© Власьевский С. В., Малышева О. А., Грибенюк Д. В., 2017

менного тока. Наиболее важную экономическую роль в этом вопросе приобретает проблема повышения энергоэффективности работы электропоездов. В этой связи работа электропоезда переменного тока по её обеспечению должна сопровождаться оценкой его эксплуатации по следующим критериям:

1. Электропоезд должен иметь высокий коэффициент мощности, который определяется в основном работой преобразователей электропоезда в режимах тяги и электрического рекуперативного торможения;
2. Электропоезд должен иметь такие регулировочные способности реализации тяговых и тормозных характеристик, при которых обеспечиваются наименьший расход электрической энергии из сети в режиме тяги и наибольший её возврат в сеть в режиме электрического рекуперативного торможения [1].

Если эти два критерия выполняются, то такой электропоезд имеет большее предпочтение перед другими на право его эксплуатации. Почему так остро ставится этот вопрос? Дело в том, что сегодня современный многосекционный электропоезд переменного тока представляет собой дорогостоящее устройство большой мощности (более 1 МВт) и потребляет большое количество электроэнергии (десятки миллионов кВт·ч) в год. В целом электропоезд является очень сложной технической системой, содержащей многочисленное силовое и управленческое оборудование, основанное на современной механической, электрической и электронной базе. Например, стоимость двухсекционного электропоезда лежит в диапазоне 100–110 млн руб., а жизненный цикл его эксплуатации составляет 40–50 лет. Затраты электроэнергии электропоездом на движение только одного грузового поезда массой 6300 т на расчётном участке железной дороги длиной 350–400 км измеряются величиной в 20000–25000 кВт·ч. Все эти цифры показывают, что локомотивное хозяйство железных дорог несёт очень большие затраты на их эксплуатацию. Исходя из этого, очень важно, чтобы эксплуатационные расходы на его работу были как можно меньше, особенно затраты электроэнергии на тягу поездов. Рассмотрим более подробно эти два критерия.

Основная часть

Известно, что все современные электропоезда переменного тока с тиристорными преобразователями имеют сравнительно невысокое значение (0,84) коэффициента мощности в номинальном режиме его работы при тяге и ещё меньшее значение (0,7) при рекуперативном торможении. В последние 25–30 лет учёными и специалистами таких научно-исследовательских и учебных заведений, как ВЭЛНИИ, ВНИИЖТ, МГУПС, ОмГУПС, ИрГУПС и ДВГУПС, ведутся исследования по повышению эффективности эксплуатации указанных электропоездов, в том числе и по повышению их энергоэффективности. Однако большого прорыва в этом вопросе долгое время не наблюдалось. И только в по-

следние 5–6 лет появились результаты значительного повышения энергетических показателей этих электровозов благодаря научно-исследовательским работам, проведённым в ИрГУПС и ДВГУПС. Достижение высоких значений коэффициента мощности сегодня лежит на пути использования новых перспективных силовых полупроводниковых преобразователей, таких, как, например, выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП) и выпрямительные установки возбуждения (ВУВ) на основе силовых IGBT-транзисторов, управление которыми осуществляется оригинальными системами управления [5]. Такой ВИП и ВУВ и их системы управления разработаны в Иркутском государственном университете путей сообщения (ИрГУПС) и прошли апробацию на достаточно мощных экспериментальных стендах в лаборатории кафедры «Электрический подвижной состав» этого университета [2, 6]. Более того, новый ВУВ на основе силовых IGBT-транзисторов внедрён на электровозе ВЛ80Р путём его модернизации и проходит опытную эксплуатацию на Восточно-Сибирской железной дороге [4]. Кроме того, разработанная схема транзисторного ВИП позволяет осуществить равномерное распределение тока по тяговым двигателям и поосное (индивидуальное) регулирование силы тяги каждого отдельного двигателя, что также будет способствовать более оптимальному потреблению электроэнергии электровозами в процессе движения поезда. Таким образом, высокие значения коэффициента мощности электровоза позволяют уменьшить затраты электроэнергии на тягу поездов.

Высокие энергетические показатели работы электровоза переменного тока заключаются, прежде всего, в достижении высоких значений коэффициента мощности преобразователей (не менее 0,95) и коэффициента полезного действия в целом всего электровоза (не менее 0,86) в номинальном режиме его работы как в тяге, так и при рекуперативном торможении. Высокий уровень коэффициента мощности позволяет значительно снизить потребление из сети реактивной мощности и поднять уровень использования активной мощности, затрачиваемой на выполнение полезной работы электровоза — тягу поездов на участке железной дороги. Более высокое значение коэффициента полезного действия позволяет уменьшить потери активной мощности в электрооборудовании электровоза.

Менее затратные по расходу электрической энергии регулировочные способности электровоза заключаются в возможности регулировать скорость движения поезда с сохранением постоянства потребляемой двигателями мощности в широком диапазоне скоростей, причём при движении поезда на расчётных подъёмах и других участках дороги со сложным перевалистым профилем пути поддерживать свою максимальную силу тяги вблизи предела сцепления. Осуществление таких регулировочных способностей электровоза можно добиться, если тяговый электропривод будет иметь мягкие тяговые характеристики $F_k = f(V)$, когда

сила тяги локомотива меняется обратно пропорционально скорости его движения. Причём эти характеристики в области низких ($0-30$ км/ч) и средних ($30-50$ км/ч) скоростей желательно приближать к виду квадратичной зависимости, когда уменьшение скорости вдвое приводит к увеличению силы тяги в четыре раза и т. д., а в области высоких скоростей приближать к виду гиперболы, когда произведение пониженных значений силы тяги и повышенных значений скорости движения на этой характеристике даёт значение мощности, близкой к постоянной величине, т. е. $F_k \cdot V = P = \text{const}$. В этом случае электровоз работает в оптимальном режиме по реализации мощности, а значит, и потребляет наименьшее количество электроэнергии. Такими характеристиками обладают тяговые двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением (коллекторный электропривод). Мягкие характеристики позволяют осуществить в зоне низких и средних скоростей движения грузового поезда по трудному профилю пути удобный закон регулирования силы тяги с сохранением её максимальных значений за счёт снижения скорости. Это является очень важным фактором возможности электровоза по преодолению подъёмов большой крутизны (например, на горном профиле пути) ценой снижения скорости до допустимых величин. При этом потребление электроэнергии электровозом несколько повышается за счёт реализации повышенных значений силы тяги. Однако в зоне высоких ($50-90$ км/ч) скоростей, когда значения силы тяги значительно снижаются, потребление электроэнергии находится на оптимальном уровне, так как коэффициент относительной жёсткости характеристики $K_F = \Delta F / \Delta V$ (коэффициент наклона характеристики) существенно уменьшается и начинает действовать закон постоянства потребляемой мощности $P = \text{const}$.

В связи с этим хочется посмотреть на те возможности наших грузовых электровозов переменного тока, которые бы могли решать обозначенные проблемы. На протяжении последних сорока лет нашей отечественной промышленностью выпущен целый ряд грузовых электровозов переменного тока (ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ80ТК, 2(3,4) ЭС5К – Ермак), оснащённых тиристорными выпрямительно-инверторными преобразователями, с помощью которых можно обеспечить плавное регулирование напряжения на тяговых электрических двигателях и применить электрическое рекуперативное торможение. Эти достоинства тиристорных преобразователей позволяют сегодня водить тяжеловесные поезда с приемлемыми показателями надёжности и безопасности. Однако затраты электроэнергии на тягу поездов у данных электровозов достаточно большие, что является следствием невысоких их энергетических показателей. Попробуем выразить свое отношение к типу тягового электропривода, который может более эффективно реализовать полученные результаты исследований этих университетов по повышению энергетических показателей электровозов.

Известно, что движение грузовых поездов на магистральных железных дорогах России связано с достаточно низким уровнем скоростей (в диапазоне 30–70 км/ч) в силу вождения тяжеловесных грузовых поездов по участкам железных дорог перевалистого профиля пути с большим количеством подъёмов и кривых рельсовой колеи, значительного количества временных и постоянных ограничений скорости движения поездов. Для целей электрической тяги и учёта этих условий грузовому электровозу необходимо иметь, как было сказано выше, мягкие тяговые характеристики. С помощью таких характеристик электровоз ценой некоторого уменьшения скорости за счёт значительно возрастающей силы тяги способен преодолевать большие силы сопротивления движению поезда от подъёмов и кривых профиля пути железной дороги и доставлять таким образом груз к месту назначения. Особенно это свойство важно иметь грузовым электровозам, которые водят на сети железных дорог России грузовые поезда большой массы и длины. У этих локомотивов определяющим является параметр силы тяги, а не скорости движения, как, например, для пассажирских электровозов и электропоездов. Эта особенность грузовых электровозов определяет требования к их тяговому электроприводу в части вида тяговых характеристик и их возможностей реализации при регулировании скорости движения грузового поезда.

В последнее время интенсивно идёт полемика и ведутся работы по применению электрической тяги на грузовых электровозах и тепловозах с помощью асинхронных двигателей трёхфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором (асинхронный привод). Считаем, что этот путь ошибочен. И вот почему. Если для скоростного пассажирского движения с малыми массами поездов (не более 500–1000 т) применение асинхронного привода можно считать оправданным, так как главным показателем здесь является большая скорость движения поезда ради быстрой доставки пассажиров к месту их назначения при небольших значениях силы тяги. В этом случае затраты электроэнергии на тягу пассажирского поезда при асинхронном и коллекторном приводах будут хоть и отличаться (коллекторный привод и здесь будет потреблять электроэнергии меньше за счёт мягкости характеристик), однако определяющим экономическим показателем в этом случае будет скорость доставки пассажиров и пропускная способность участка железной дороги. В то же время для грузовых поездов большой массы и длины в принципе недопустимы большие скорости на участке дороги по причине обеспечения их безопасности движения. Для них в зоне низких и средних скоростей движения (0–50 км/ч) определяющим показателем является сила тяги электровоза по преодолению сил сопротивления от подъёмов и кривых участка железной дороги и от состава поезда. В этом случае, как уже говорилось выше, желательны мягкие тяговые характеристики, которых у созданных сегодня электровозов с асинхронным приводом

(например, 2ЭС5) нет. Тем не менее, согласно теории электропривода [3], такие характеристики для этих электровозов можно получить с помощью силовых полупроводниковых преобразователей частоты (ПЧ).

Известно, что при изменении частоты тока f_1 в статорных обмотках двигателя меняется и синхронная частота вращения магнитного поля статора $n_1 = f_1 \cdot 60 / p$, где p — число пар полюсов в статоре.

В результате меняется и частота вращения ротора n двигателя. При этом максимальный момент вращения $M_{\max}$ ротора асинхронного двигателя зависит от напряжения U_1 и частоты f_1 в обмотках статора

$$M_{\max} = C \cdot U_1^2 / f_1^2, \quad (1)$$

где C — постоянный коэффициент для данного двигателя, который можно определить по формуле $C = m_1 \cdot p / 8\pi^2 \cdot L_k$.

Отсюда видно, что $M_{\max}$ двигателя зависит от частоты тока и напряжения в обмотках статора. Это, в свою очередь, влияет на коэффициент λ перегрузочной способности двигателя $\lambda = M_{\max} / M_{\text{ном}}$. Поэтому для сохранения перегрузочной способности асинхронного двигателя (а это явление очень важный фактор эксплуатации локомотива при электрической тяге) необходимо с изменением частоты тока f_1 одновременно менять и напряжение U_1 на обмотках статора. Характер одновременного изменения f_1 и U_1 зависит от вида графика изменения статического момента нагрузки M_c в конкретном электроприводе.

Если величина M_c неизменна и равна некоторой постоянной величине, то, исходя из этого факта, частоту вращения ротора двигателя n можно регулировать при соблюдении условия постоянства его момента вращения M согласно формуле:

$$M = 9,55 P / n \approx \text{const}. \quad (2)$$

В этом случае напряжение U_1 на статоре необходимо изменять пропорционально изменению частоты тока f_1 : $U_1 = U_{1\text{ном}} \cdot (f_1 / f_{1\text{ном}})$, где $U_{1\text{ном}}$ и $f_{1\text{ном}}$ — номинальные значения напряжения и частоты тока в обмотках статора, U_1 и f_1 — фактические значения напряжения и частоты тока в обмотках статора.

Из формулы (1) следует, что при условии постоянства момента вращения $M = \text{const}$ величину напряжения U_1 необходимо регулировать пропорционально изменению величины f_1 , т. е. необходимо соблюдать условие постоянства соотношения $U_1 / f_1 = \text{const}$. Характеристики остаются жесткими во всем диапазоне изменения нагрузки и перегрузочная способность двигателя также остается неизменной. Исходя из рассмотрения физической сущности этого способа регулирования, можно сделать вывод о том, что потребляемая двигателем мощность P изменяется пропорционально изменению частоты вращения n его ротора, т. е. с ростом частоты вращения ротора мощность увеличивается и, наоборот, уменьшается с её снижением. В результате расход электроэнергии дви-

гателем на вращение привода будет повторять этот закон изменения мощности.

Если график статического момента нагрузки M_c имеет вид мягкой характеристики и приближается к кривой по гиперболе, то регулирование частоты вращения ротора происходит при условии неизменной мощности двигателя, когда с увеличением вращающего момента двигателя для преодоления статического момента нагрузки частота вращения ротора уменьшается:

$$P = 0,105 M \cdot n \approx \text{const.} \quad (3)$$

В этих условиях напряжение на статоре U_1 следует изменять в соответствии с формулой

$$U_1 = U_{1\text{ном}} \sqrt{f_1 / f_{1\text{ном}}}. \quad (4)$$

При этом способе регулирования частоты вращения ротора, когда поддерживается $P = \text{const}$, необходимо соблюдать условие постоянства соотношения $U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const}$.

Известно, что под нагрузкой электропривода для любого объекта промышленности понимается изменение статического момента сопротивления рабочего механизма (насос, компрессор, вентилятор и др.), который преодолевается двигателем при его вращении. В условиях работы тягового электропривода на электровозе таким статическим моментом сопротивления нагрузки является сопротивление вращению колес электровоза и, в конечном счёте, сопротивление поступательному движению электровоза с поездом, которое возникает от профиля пути (подъёмы, площадки и кривые рельсовой колеи) участка железной дороги и вагонов состава. Это сопротивление зависит ещё и от величины скорости движения поезда (увеличивается с ростом скорости и наоборот). Механические характеристики отличаются от тяговых характеристик электровоза $F = f(V)$ только тем, что зависимость $n = f(M)$ рассматривается не на автосцепке электровоза, а на валу ротора двигателя и не учитывает коэффициентов механической передачи и её полезного действия при передаче момента вращения от вала двигателя к колесу и далее к автосцепке электровоза. При этом функция (зависимая переменная) n и аргумент (независимая переменная) M механической характеристики асинхронного двигателя в тяговой характеристике меняются местами, т. е. вместо функции n механической характеристики в тяговой характеристике рассматривается аргумент V — линейная скорость движения электровоза, а вместо аргумента M механической характеристики рассматривается функция F — сила тяги двигателя или электровоза.

С точки зрения энергетической эффективности рассмотрим возможность применения на электровозах переменного тока с асинхронным приводом пронализированных выше двух принципов регулирования частоты вращения ротора двигателей. При выборе того или иного принци-

на регулирования скорости движения на грузовых электровозах переменного тока надо исходить прежде всего из понимания физической сущности нагрузки электровоза и её возможного диапазона изменения. Как было уже сказано выше, нагрузкой электровоза является сопротивление движению поезда от профиля пути и вагонов состава. Эта нагрузка, в отличие от многих приводов промышленности, изменяется в очень широких пределах (от минимума на площадках и спусках пути до максимума на подъёмах с кривыми рельсовой колеи). Всё это требует выбора такого закона регулирования, который бы решал две задачи: первую — движение грузового поезда расчётной массы в соответствии с графиком скоростей по участку железной дороги и возможностью преодоления различных сил сопротивления движению, включая и расчётные подъёмы, и вторую — минимальные затраты электроэнергии электровозом на тягу поезда (главный энергетический показатель его работы).

При первом принципе, когда $M = \text{const}$, потребляемая двигателем мощность изменяется пропорционально изменению частоты вращения n его ротора. Следовательно, с ростом частоты вращения роторов двигателей (иначе — скорости движения электровоза) потребляемая двигателями электровоза мощность увеличивается, а значит, увеличивается и расход электроэнергии на тягу поезда. Тяговая характеристика двигателя, построенная по этому принципу, является весьма жёсткой. Такой принцип регулирования скорости движения для электровозов переменного тока является неэффективным с точки зрения затрат на электроэнергию. И, тем не менее, этот принцип заложен в основу регулирования скорости движения электровоза 2ЭС5 с асинхронными тяговыми двигателями. Опытная эксплуатация в течение года двух электровозов 2ЭС5 на базе асинхронного привода с грузовыми поездами на участке Тайшет — Вихоревка — Северобайкальск показала, что удельный расход электроэнергии на тягу поездов у этих электровозов выше на 15–20 %, чем в таких же условиях у электровозов 2ЭС5К на базе коллекторного привода.

При втором принципе, когда $P = \text{const}$, регулирование частоты вращения ротора двигателей происходит в условиях потребления неизменной мощности двигателя, т. е. с увеличением электромагнитного вращающего момента частота вращения ротора уменьшается, а произведение этих параметров друг на друга остаётся постоянным по величине. Тяговая характеристика двигателя, построенная по этому принципу, является мягкой и приближается по её виду к кривой гиперболы. Такой принцип регулирования скорости движения для электровозов переменного тока является вполне эффективным с точки зрения затрат по электроэнергии на тягу поездов, так как с ростом скорости сила тяги падает и наоборот с её снижением сила тяги растёт, что позволяет расходу электроэнергии оставаться постоянным. Несмотря на это, такой принцип не применён для регулирования скорости движения электровоза

2ЭС5 с асинхронными тяговыми двигателями, но зато применён в электровозах переменного тока с коллекторным приводом, у которого нет никаких ограничений для его применения. Неприменение второго принципа регулирования скорости на электровозах с асинхронным приводом, на наш взгляд, связан с тем, что в области низких скоростей очень трудно осуществить регулирование в ПЧ частоты тока в обмотках статора. Здесь при снижении скорости уменьшение величины частоты идёт с большим опережением (в квадратичной зависимости), чем уменьшение величины напряжения на статоре двигателя. В самом низком диапазоне скоростей практически не остаётся диапазона для регулирования частоты тока, что создаёт значительные трудности в системе управления для реализации такого закона регулирования.

В то же время использование мягкой тяговой характеристики на электровозах переменного тока с коллекторным приводом позволяет осуществить в широком диапазоне скоростей движения грузового поезда удобный закон регулирования его силы тяги, когда она увеличивается при снижении скорости и уменьшается при её увеличении.

Не следует забывать и того, что двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением имеют большую перегрузочную способность (отношение максимального электромагнитного момента к его номинальному значению) и обладают устойчивостью работы при росте статического момента нагрузки. В тех же самых условиях асинхронные двигатели могут потерять устойчивую работу не только при соответствующей перегрузке (превышение статического момента сопротивления над максимальным электромагнитным моментом), но и при возможном уменьшении напряжения источника питания (контактная сеть). Это связано с тем, что у асинхронного двигателя его максимальный электромагнитный момент, а следовательно, и его перегрузочная способность пропорциональны квадрату напряжения, подводимого к двигателю.

Таким образом, применение асинхронного привода на грузовых электровозах переменного тока приведёт к большим затратам электрической энергии по сравнению с коллекторным приводом и худшим возможностям работы (вплоть до потери устойчивости) при реализации увеличенных сил тяги с увеличением сил сопротивления от состава поезда и профиля пути. При таких условиях асинхронный привод на мощных грузовых электровозах проигрывает коллекторному приводу как по энергетике, так и по реализации тяговых характеристик при регулировании в зоне пониженных скоростей. И, несмотря на несколько большие эксплуатационные затраты на обслуживание щеточно-коллекторного узла двигателя постоянного тока, считаем, что это не может служить основанием в настоящее время для замены коллекторного привода асинхронным приводом в грузовых электровозах переменного тока. Ежегодная статистика отказов тяговых двигателей постоянного то-

ка в условиях эксплуатации электровозов переменного тока на сети железных дорог показывает примерно 10–15 % от всех отказов оборудования электровоза. Однако такой выход из строя тяговых двигателей, по нашему мнению, происходит не потому, что двигатели устарели морально и якобы уступают по своей надёжности и характеристикам асинхронным двигателям, а потому, что в эксплуатации электровозов, к сожалению, происходят нарушения и отклонения от норм в их техническом обслуживании и ремонте (человеческий фактор), которые затем усугубляются превышением их номинального режима работы на тяжёлых участках пути в процессе ведения поезда. И тем не менее, надо признать, что благодаря отмеченным выше достоинствам коллекторного привода наши грузовые электровозы переменного тока вот уже несколько десятилетий надёжно осуществляют большой перевозочный процесс по железным дорогам Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока. Большое количество приводов с такими двигателями также продолжают успешно работать по сей день и в промышленности.

В ноябре 2015 года на участке Хабаровск-2 — Бикин Дальневосточной дороги были проведены опытные измерения параметров работы электровозов 3ЭС5К с коллекторным приводом при ведении тяжеловесного поезда массой 6119 т по перевалистому профилю пути. Данные расхода электроэнергии в режиме тяги электровозом 3ЭС5К показывают, что энергетическая эффективность их работы выше, чем в таких же условиях при расчёте теоретическим путём у электровозов типа 2ЭС5 с асинхронным приводом. Из сравнения этих результатов следует, что электровозы с мягкими тяговыми характеристиками типа ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ80ТК, 2(3,4) ЭС5К при работе с грузовыми поездами в диапазоне скоростей 40–70 км/ч (наиболее часто встречающийся режим вождения грузовых поездов на железных дорогах Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока, на которых преобладает перевалистый профиль пути с подъёмами 6–12 ‰ длиной 10–20 км и более) имеют меньший (примерно на 20–30 %) расход электроэнергии на тягу поездов, чем электровозы переменного тока с жёсткими тяговыми характеристиками типа 2ЭС5 с асинхронным приводом.

Заключение

Если учесть, что модернизация электровозов 2(3,4) ЭС5К — переход на новые транзисторные преобразователи ВИП и ВУВ — приведёт к значительному повышению энергетических показателей этих электровозов (коэффициенты мощности и полезного действия достигнут значений 0,96 и 0,86 соответственно), то энергетическая эффективность их работы будет ещё выше. Учитывая большие размеры движения поездов большой массы и длины на сети железных дорог, экономический эффект от эксплуатации модернизированных электровозов переменного тока с

коллекторным приводом, обладающих повышенной энергетической эффективностью, будет весьма высоким.

На основании этого можно сделать вывод, что сегодня в России наиболее перспективными и удовлетворяющими требованиям энергетической эффективности и работоспособности остаются электровозы переменного тока с коллекторным приводом, которые в короткое время могут быть модернизированы на новые ВИП и ВУВ с применением IGBT — транзисторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власьевский С. В. Влияние тяговых и тормозных характеристик коллекторного и асинхронного приводов на энергетическую эффективность электровозов переменного тока / Власьевский С. В., Мельниченко О. В., Мальшева О. А., Грибенюк Д. В. // Электроника и электрооборудование транспорта. 2016. № 3. С. 25–31.
2. Власьевский С. В. Экспериментальный стенд для исследования процессов работы тиристорного и транзисторного выпрямительно-инверторных преобразователей электровоза переменного тока в режиме тяги на первой зоне регулирования / Власьевский С. В., Мельниченко О. В., Портной А. Ю., Шрамко С. Г., Яговкин Д. А. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2014. Т. 14. № 4. С. 52–59.
3. Кацман М. М. Электрический привод. 4-е изд. М.: Академия, 2011. 384 с.
4. Мельниченко О. В., Линьков А. О. Математическое моделирование работы электровоза сновой выпрямительной установкой возбуждения на IGBT транзисторах // Наука и техника транспорта. 2013. № 2. С. 21–28.
5. Мельниченко О. В., Шрамко С. Г., Линьков А. О. Повышение коэффициента мощности электровоза в режиме рекуперативного торможения // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 3 (47). С. 64–69.
6. Яговкин Д. А. Экспериментальный стенд для исследования процессов работы тиристорного и транзисторного выпрямительно-инверторных преобразователей электровоза переменного тока в режиме тяги на высших зонах регулирования / Яговкин Д. А., Мельниченко О. В., Портной А. Ю., Шрамко С. Г. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 11. С. 251–259.

* * *

Vlasyevsky Stanislav V., Malysheva Olga A., Gribenyuk Denis V.
COMPARATIVE OPPORTUNITIES OF USE ON ELECTRIC LOCOMOTIVES
OF THE COLLECTOR AND ASYNCHRONOUS DRIVE
 (Far Eastern State University of Transport, Khabarovsk)

Abstract. In article merits and demerits of collector and asynchronous engines of electric locomotives of an alternating current in the pull mode by reviewing of their tractive characteristics and characteristics of power are considered. A comparative assessment of their properties is given. Influence of tractive characteristics on characteristics of power and consequently and on the expenditure of the electric power in the pull mode is shown. The behavior of collector and asynchronous engines on boundary of coupling of a wheel with a rail in case of origin of skidding of wheel couples is disclosed and influence on this process of tough and soft tractive characteristics. The comparative analysis of all types of influences of characteristics on energetic

efficiency of electric locomotives of an alternating current with collector and asynchronous drives is carried out.

Keywords: Electric locomotive, the draft mode, the electric drive, traction characteristics, characteristics of power, electric power expense, slipping of wheel couples concerning rails.

REFERENCES

1. Vlas'evskiy S. V., Mel'nichenko O. V., Malysheva O. A., Gribenyuk D. V. Influence of hauling and brake descriptions of collector and asynchronous drive on power efficiency of electric locomotives of alternating current [Vliyanie tyagovykh i tormoznykh kharakteristik kollektornogo i asinkhronnogo privodov na energeticheskuyu effektivnost' elektrovozov peremennogo toka], *Elektronika i elektrooborudovanie transporta*, 2016, no. 3, pp. 25–31.
2. Vlas'evskiy S. V., Mel'nichenko O. V., Portnoy A. Yu., Shramko S. G., Yagovkin D. A. Test stand for research on operation processes of thyristor and transistor reversible converters of ac locomotives in traction mode on the first control band [Eksperimental'nyy stend dlya issledovaniya protsessov raboty tiristornogo i tranzistornogo vypryamitel'no-invertornykh preobrazovateley elektrovoza peremennogo toka v rezhime tyagi na pervoy zone regulirovaniya], *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*, series: *Energetika*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 52–59.
3. Katsman M. M. *Elektricheskiy privod* (Electric drive), 4th edition, Moscow, Akademiya Publ., 2011. 384 p.
4. Mel'nichenko O. V., Lin'kov A. O. Mathematical simulation of the operation of an electric locomotive with a new rectifier excitation installation on IGBT transistors [Matematicheskoe modelirovanie raboty elektrovoza snovoy vypryamitel'noy ustanovkoy vzbuzhdeniya na IGBT tranzistorakh], *Nauka i tekhnika transporta*, 2013, no. 2, pp. 21–28.
5. Mel'nichenko O. V., Shramko S. G., Lin'kov A. O. Raising of power factor of electric locomotive at regenerative braking regime [Povyshenie koeffitsienta moshchnosti elektrovoza v rezhime rekuperativnogo tormozheniya], *Mir transporta*, 2013, vol. 11, no. 3 (47), pp. 64–69.
6. Yagovkin D. A., Mel'nichenko O. V., Portnoy A. Yu., Shramko S. G. Experimental stand to study the operation of reversible thyristor and transistor converters of ac locomotives in a traction mode on higher regulation zones [Eksperimental'nyy stend dlya issledovaniya protsessov raboty tiristornogo i tranzistornogo vypryamitel'no-invertornykh preobrazovateley elektrovoza peremennogo toka v rezhime tyagi na vysshikh zonakh regulirovaniya], *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 11, pp. 251–259.

* * *

УДК 621.311.06

И. В. Игнатенко, С. А. Власенко, Р. С. Кавлак**ОЦЕНКА ПЕРЕХОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПЛАШЕЧНОГО БОЛТОВОГО ЗАЖИМА**

В статье приведено исследование тепловых процессов, происходящих в электрическом соединении. Предложен новый подход к оценке переходного сопротивления, влияющий на надёжную работу системы электроснабжения.

Ключевые слова: электрическое соединение, математическая модель, охлаждение, нагрев, переходное сопротивление, болтовой зажим.

Известен способ определения переходного сопротивления зажима КС-053 в эксплуатации при помощи тепловизионной съёмки. При этом используется коэффициент дефектности как отношение превышений температуры зажима к температуре провода, в метре от соединения, над температурой окружающей среды [3].

Однако тепловизионная съёмка не учитывает режим работы сети и физические параметры элементов, входящих в состав соединения, таких как масса и удельная теплоёмкость. В работе [1] показано, что коэффициент дефектности не может быть показателем качества работы соединения из-за нестационарности режимов работы. Но, с другой стороны, именно коэффициент дефектности наиболее перспективен для автоматизированной оценки состояния электрического соединения.

Для исследования обозначенного выше коэффициента было произведено математическое моделирование цикла «нагрев-охлаждение» и выявлен критерий определения переходного сопротивления соединения, образованного проводами МФ-100 и М-95, соединёнными между собой плашечным болтовым зажимом КС-053 [2].

Моделирование производилось в программной среде MathCAD. Математическая модель нагрева соединительного зажима имеет следующий вид [5, 6, 7]:

Игнатенко Иван Владимирович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой систем электроснабжения (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск); e-mail: eao79@yandex.ru.

Власенко Сергей Анатольевич — старший преподаватель кафедры систем электроснабжения (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск); e-mail: vsa_ens@mail.ru.

Кавлак Роман Сергеевич — магистрант Электроэнергетического института (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск).

© Игнатенко И. В., Власенко С. А., Кавлак Р. С., 2017

$$(C_3 m_3 + C_{np} m_{np}) \cdot \frac{d\theta}{dt} = I^2 R_{K20} [1 + \alpha' (T_{окр} + \theta(t) - 20)] - \\ - [0,1312 \theta^{1,4929} + \varepsilon S \cdot 5,6697 \cdot 10^{-8} [(T_{зак} + 273)^4 - (T_{окр} + 273)^4]] \quad (1)$$

где C_3 — удельная теплоёмкость материала плашек зажима, Вт·с/(кг·К); m_3 — масса плашек зажима, кг; C_{np} — удельная теплоёмкость материала провода, Вт·с/(кг·К); m_{np} — масса провода, участвующего в нагреве плашек зажима, кг; R_{K20} — сопротивление контакта при температуре 20 °С; α' — температурный коэффициент сопротивления проводника, 1/°С; $\theta(t) = T_{зак} - T_{окр}$ — превышение температуры зажима над температурой окружающей среды, °С; $T_{зак}$ — температура зажима, °С; $T_{окр}$ — температура окружающей среды, °С; $\varepsilon = 0,6$ — относительный коэффициент черноты для бронзы АЖ9-4-10-3-1,5; S — площадь поверхности плашек зажима, м².

Уравнение процесса охлаждения является частным случаем уравнения (1), в котором ток равен нулю. В таком случае уравнение примет вид:

$$(C_3 m_3 + C_{np} m_{np}) \cdot \frac{d\theta}{dt} = -[0,01312 \cdot \theta^{1,4929} + \\ + \varepsilon S \cdot 5,6697 \cdot 10^{-8} [(T_{зак} + 273)^4 - (T_{окр} + 273)^4]] \quad (2)$$

После преобразований уравнения (2) получим конечную формулу для расчёта превышения температуры зажима θ при его охлаждении от начального превышения θ_0 в виде:

$$\theta = \left(\frac{0,0108438 \cdot P \cdot t}{C_3 m_3 + C_{np} m_{np}} + \frac{1}{\theta_0^{0,4929}} \right)^{-2,029} \quad (3)$$

где P — периметр сечения зажима.

Приведённое выражение получено при следующих допущениях:

- в процессе охлаждения электрического соединения температура окружающего воздуха практически остается постоянной;
- окружающая среда обладает свойством чёрного тела;
- не учитывается различие в поведении жидкостей и газов;
- воздух считается несжимаемым;
- нагревом за счёт солнечной и земной радиации можно пренебречь.

Расчёт уравнений (1) и (3) производится численным методом Рунге-Кутты с помощью блока Given-Odesolve программного пакета MathCAD 14. Фрагмент кода программы расчёта при переходном сопротивлении, равном 10 мкОм, приведён на рисунке 1.

```

c1 := 375      c2 := 61
m1 := 0.132    m2 := 0.5

I(t) := 600
r := 10 × 10-6   εок := 0.6   δок := 5.67 · 10-8
tn := 3000      Fz := 0.042 · 10-3
α := 4.3 · 10-3   Fz = 4.2 × 10-5
Токр := 20
P := 0.592     t := 0,300..10000
h := 1.4929

Given
(c1·m1 + c2·m2)·q'(t) = I(t)2·r·[1 + α·(Токр + q(t) - 20)] - [0.01312·q(t)1.4929 + ε·Fz·δ·[(q(t) + 273)4 - (Токр + 273)4]]
q(0) = 0

q := Odesolve(t, tn)
q0 := q(tn)

qохл(t) := 
$$\begin{cases} 1 & \text{if } t > tn \\ \left[ \frac{1}{q_0^{0.4929}} + P \cdot (t - tn) \cdot \frac{0.0108438}{c1 \cdot m1 + c2 \cdot m2} \right]^{\frac{1}{h-1}} & \text{otherwise} \end{cases}$$


q2(t) := if(t > tn, qохл(t), q(t))

```

Рис. 1. Фрагмент программного кода
расчёта превышения температуры зажима КС-053
при циклической тяговой нагрузке

Преимущество такого подхода заключается в возможности выполнения многовариантных расчётов при минимуме затрат времени на ввод исходных данных и на собственно расчёт.

На рисунке 2 приведено семейство кривых превышения температуры зажима КС-053 при нагревании тяговым током 600 А в течение 50 минут с последующим охлаждением при температуре воздуха – 20 °С и изменении переходного сопротивления от 10 до 75 мкОм с шагом 5 мкОм.

Так как коэффициент дефектности представляет собой отношение превышений температур зажима и провода, то необходима математическая модель цикла охлаждения провода МФ-100. Такая модель известна [5] (формула 4) и её программный код в среде MathCAD имеет вид, изображённый на рисунке 3.

Уравнение охлаждения имеет вид:

$$C_{np} m_{np} \cdot \frac{d\theta}{dt} = -(4,45 + 0,0175 T_{окр}) \cdot \theta^{1,25} \cdot P. \quad (4)$$

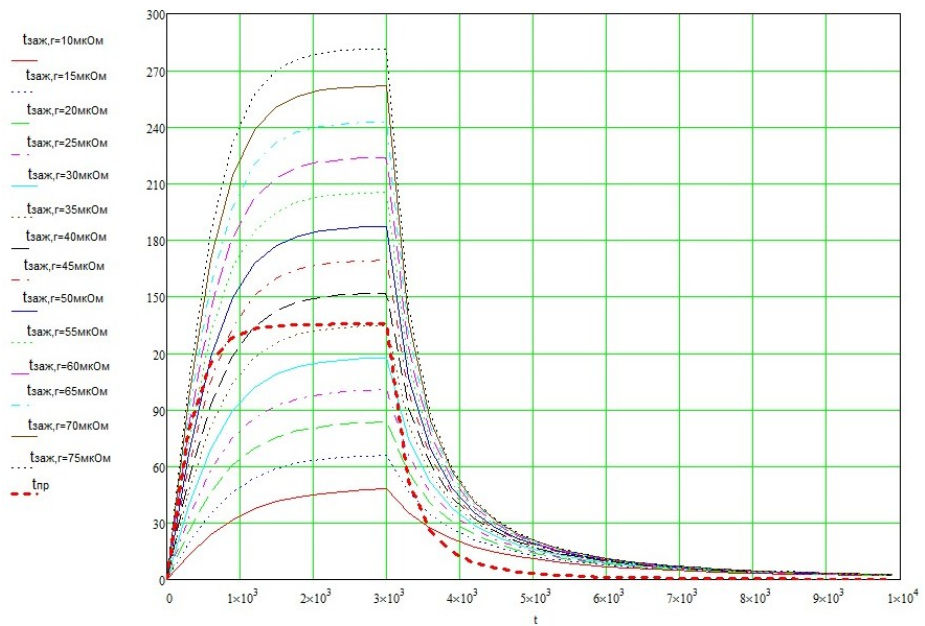


Рис. 2. Зависимость превышения температуры зажима КС-053 над температурой окружающего воздуха от времени

$$\begin{aligned}
 p_{20} &:= 2.83 \cdot 10^{-2} \\
 h_1 &:= 1.34 \\
 m &:= 0.89 \\
 c_m &:= 375 \\
 f &:= 4.45 \\
 g_1 &:= 0.0175 \\
 P_1 &:= 0.002 \cdot (A + H) \\
 \omega &:= f + g_1 \cdot T_{\text{окр}} \\
 \text{Given} \quad \text{Given} \\
 c \cdot m \cdot \theta'(t) &= I(t)^2 \cdot \frac{p_{20}}{S} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_{\text{окр}} + \theta(t) - 20)] - \omega \cdot P_1 \cdot \theta(t)^{h_1} \\
 \theta(0) &= 0 \\
 \theta &:= \text{Odesolve}(t, t_n) \\
 \theta_0 &:= \theta(t_n) \\
 \theta_{\text{ox}}(t) &:= \begin{cases} \frac{1}{\left[\frac{1}{\theta_0^{0.34}} + \omega \cdot P_1 \cdot (t - t_n) \cdot \frac{0.34}{c \cdot m} \right]^{\frac{1}{h_1-1}}} & \text{if } t > t_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 3. Программный код расчёта температуры контактного провода и её превышения при циклической тяговой нагрузке

Авторами статьи предложено совместное решение уравнений (1), (3) и уравнений, представленных на рисунке 3. Результаты численного моделирования цикла «нагрев-охлаждение» соединения дают представление о том, как изменяется коэффициент дефектности при циклической тяговой нагрузке (рис. 4).

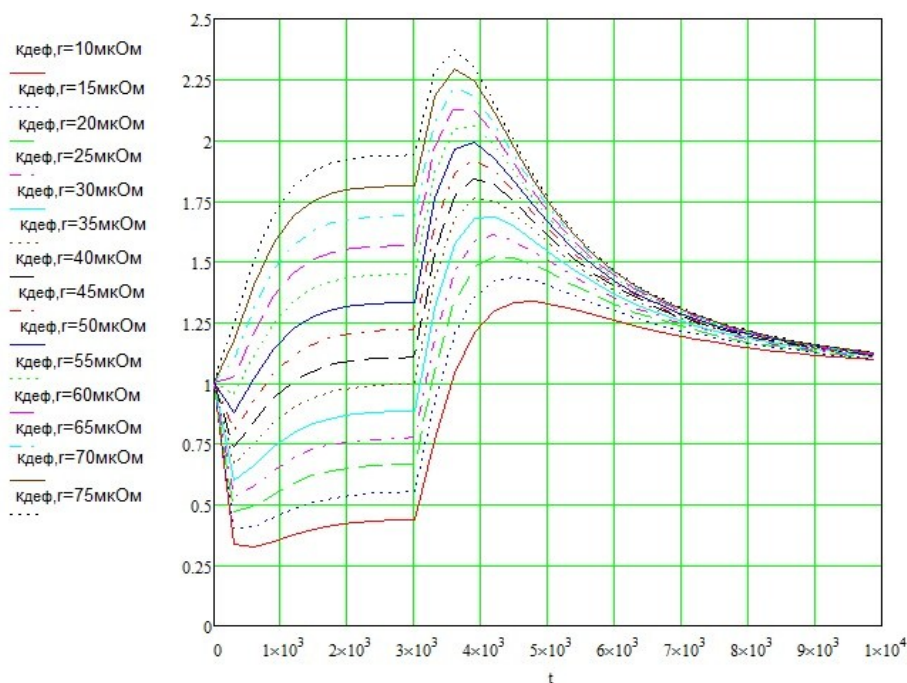


Рис. 4. Изменение коэффициента дефектности зажима КС-053 при циклической тяговой нагрузке

Анализ коэффициента дефектности показывает, что его величина не может быть показателем качества соединения в силу своей нестационарности. Однако в ходе моделирования были выявлены иной критерий определения качества соединения и возможность его мониторинга. Устройство, выявляющее зажим с плохим переходным сопротивлением, должно быть основано на определении тангенса угла наклона кривой коэффициента дефектности.

Зависимость тангенса угла наклона от переходного сопротивления можно проследить из рисунка 4 на интервале 500–2000 секунд при нагреве и на интервале 4000–6000 секунд при охлаждении. Предлагаемый подход позволит создать автоматизированную систему мониторинга состояния электрического соединения и, как следствие, предотвраще-

ния аварий в системах электроснабжения по причине выхода их из строя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин А. Г. Совершенствование системы обслуживания контактной сети электрифицированных железных дорог на основе технической диагностики: дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 260 с.
2. ГОСТ 12393-2013. Арматура контактной сети железной дороги линейная. М.: Стандартиформ, 2014. 220 с.
3. ГОСТ 17441-84 Соединения контактные электрические. Правила приёмки и методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1987. 16 с.
4. Григорьев В. Л., Игнатиев В. В. Тепловые процессы в устройствах тягового электроснабжения: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Изд-во ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 182 с.
5. Игнатенко И. В., Власенко С. А. Определение критериев оценки качества электрического соединения // Электротехника. 2016. № 2. С. 9–11.
6. Игнатенко И. В., Власенко С. А. Повышение эксплуатационной надёжности токопроводящих зажимов контактной сети электрифицированных железных дорог: монография. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016. 116 с.
7. Игнатенко И. В., Власенко С. А. Проблемы определения качества электрического соединения // Транспорт азиатско-тихоокеанского региона. 2015. № 1 (2, 3). С. 32–35.

* * *

Ignatenko Ivan V., Vlasenko Sergey A., Kavlak Roman S.
ESTIMATION OF TRANSITIONING ELECTRICAL
RESISTANCE OF A BOLT CLAMP

(Far Eastern State Transport University, Khabarovsk)

The article gives a research of the thermal processes occurring in an electrical connection. A new approach for estimating the transient resistance, which affects the reliable operation of the power supply system is proposed.

Keywords: Electrical connection, mathematical model, cooling, heating, transient resistance, bolt clamp.

REFERENCES

1. Galkin A. G. *Sovershenstvovanie sistemy obsluzhivaniya kontaktnoy seti elektrifitsirovannykh zheleznikh dorog na osnove tekhnicheskoy diagnostiki* (Perfection of the maintenance system of the contact network of electrified railways on the basis of technical diagnostics), The dissertation of the candidate of technical sciences, Moscow, 1988. 260 p.
2. GOST 12393-2013. The armature of the railroad contact system is linear, Moscow, Standartinform Publ., 2014. 220 p. (In Russ.).
3. GOST 17441-84 Connections of electrical contacts. Acceptance rules and test methods, Moscow, Standards Publ., 1987. 16 p. (In Russ.).
4. Grigoryev V. L, Ignatiev V. V. *Teplovye protsessy v ustroystvakh tyagovogo elektrosnabzheniya* (Thermal processes in devices of traction power supply), Textbook for high schools of railway transport, Moscow, 2007. 182 p.
5. Ignatenko I. V, Vlasenko S. A. Determination of criteria for assessing the quality of

electrical connections [Opredelenie kriteriev otsenki kachestva elektricheskogo soedineniya], *Elektrotehnika*, 2016, no. 2. pp. 9–11.

6. Ignatenko I. V., Vlasenko S. A. *Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti tokoprovod-yashchikh zazhimov kontaktnoy seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* (Increase of operational reliability of current-carrying terminals of the contact network of electrified railways), Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2016. 116 p.
7. Ignatenko I. V., Vlasenko S. A. Problems of determining the quality of electrical connection [Problemy opredeleniya kachestva elektricheskogo soedineniya], *Transport aziatsko-tikhoookeanskogo regiona*, 2015, no. 1 (2, 3), pp. 32–35.

* * *

УДК 531.001.362

Бай Сяолун, В. Л. Земляк,**Н. О. Баурин, Е. Г. Рогожникова**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАТОРОШЕННОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ПАРАМЕТРЫ ИЗГИБНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОГРУЖЁННОГО ТЕЛА

В работе исследовано влияние продольных и поперечных торосов на деформированное состояние ледяного покрова от движения под ним подводного судна.

Ключевые слова: подводное судно, лёд, торосы, изгибно-гравитационные волны.

Введение

Воздействие ветра и течения на ледяные поля может вызвать в них процессы сжатия, приводящие к торосению. При появлении необходимости всплытия подводного судна (ПС) в случае возникновения аварийной ситуации либо при выполнении различных маневров в заторошенном ледяном покрове могут быть использованы гидродинамические нагрузки.

Известно, что при движении ПС под поверхностью льда в ледяном покрове возникает система изгибно-гравитационных волн (ИГВ), амплитуда которых достигает максимума при скорости судна несколько большей, так называемой «горбовой» скорости, соответствующей наиболее интенсивному волнообразованию при движении под свободной поверхностью, тогда в ледяном покрове будут развиваться прогрессивные ИГВ,

Бай Сяолун — кандидат технических наук, доцент (Институт судостроения и океанотехники, Харбинский инженерный университет, Харбин, Китай); e-mail: baixiaolong@hrbeu.edu.cn.

Земляк Виталий Леонидович — кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

Баурин Никита Олегович — аспирант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: baurin79@mail.ru.

Рогожникова Елена Григорьевна — старший преподаватель кафедры информационной безопасности, информационных систем и физики (Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет, Комсомольск-на-Амуре); e-mail: Steinbockh@mail.ru.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10097).

© Бай Сяолун, Земляк В. Л., Баурин Н. О., Рогожникова Е. Г., 2017

при этом растрескивание или полное разрушение льда будет происходить с минимальными энергозатратами [3].

Целью работы является исследование влияния степени заторошенности ледяного покрова на параметры изгибно-гравитационных волн, генерируемых от движения нагрузки в виде погружённого тела.

Подготовка к проведению экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования движения модели подводного судна под заторошенным ледяным покровом проводились в ледовом бассейне лаборатории ледотехники Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема (Россия, Биробиджан) (рис. 1) [1].

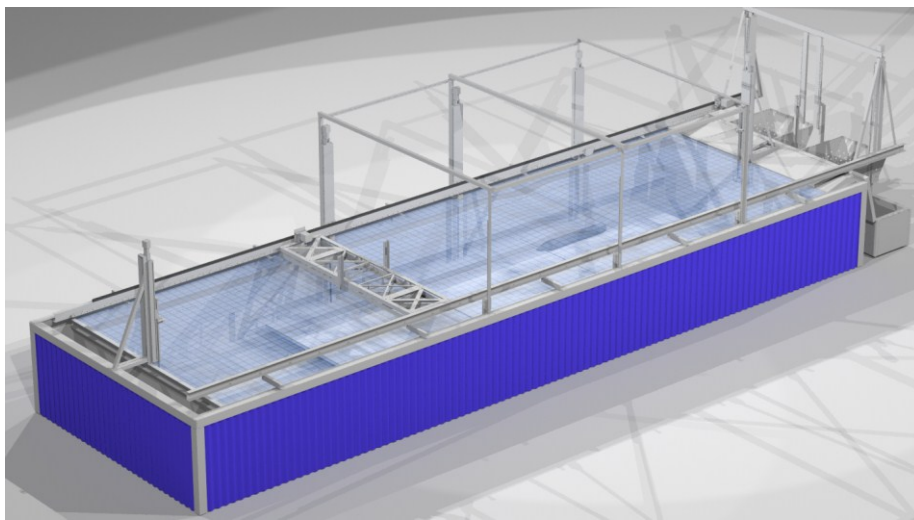


Рис. 1. Общий вид опытового бассейна

Эксперименты проводились при относительных скоростях перемещения нагрузки, равных $Fr = 0,40 - 0,9$ и относительных глубинах погружения $h_0/L = 0,2 - 0,5$. Буксировки модели выполнялись под ледяным покровом, в качестве которого использовалась упругая плёнка толщиной 9 мм с известным значением модуля Юнга, обеспечивающая проведение экспериментов в масштабе 1:200.

В качестве модели ПС использовалось тело вращения каплевидной формы с относительным удлинением L_m/B_m , где L_m — длина модели, равным 8. Водоизмещения моделей ПС после пересчёта на натуру составляло порядка 13 600 т [4].

Моделирование производилось по критерию подобия Фруда без учёта чисел Рейнольдса в соответствии с известной методикой модели-

рования изгибно-гравитационных волн в сплошном неразрушаемом льду [2]:

$$E_n/E_m = h_n/h_m = \lambda_l,$$

где E_n – модуль упругости натурального льда, E_m – модуль упругости модельного льда, h_n – толщина натурального льда, h_m – толщина модельного льда, λ_l – геометрический масштаб.

Модель судна была геометрически подобна натурному судну, поэтому выполнялись условия:

$$L_n/L_m = \lambda_l, \quad D_n/D_m = \lambda_l^3,$$

где L_n – длина модели ПС, L_m – длина натурального ПС, D_n – водоизмещение модели ПС, D_m – водоизмещение натурального ПС.

Скорость движения модели определялась из условия:

$$v_n/v_m = \lambda_l^{1/2},$$

где v_n – скорость движения модели ПС, v_m – скорость движения натурального ПС.

Параметры модельных ИГВ пересчитывались на натуру согласно соотношениям:

$$\lambda_n/\lambda_m = \omega_n/\omega_m = \lambda_l,$$

где λ_n – длина натуральных ИГВ, λ_m – длина модельных ИГВ, ω – прогиб натуральных ИГВ, ω_n – прогиб модельных ИГВ.

В опытах заторошенность ледяного покрова имитировалась посредством приклеивания к сплошной упругой пластине квадратных элементов модельного льда размерами 50 × 50 мм и прямоугольных элементов на расстоянии 50 мм друг от друга, что соответствовало натурным размерам 10 × 10 м и 10 м соответственно. Торосы ориентировались параллельно (рис. 2) и перпендикулярно (рис. 3) направлению движения модели, а квадратные элементы раскладывались в порядке, представленном на рисунке 4.

Буксировки модели осуществлялась под модельным льдом при относительных заглублениях корпуса $\bar{h} = 0,2 \dots 0,5$. На первом этапе исследовалось деформированное состояние сплошного ледяного покрова.

Результаты экспериментальных исследований

Результаты исследования показаны на рис. 5–6.

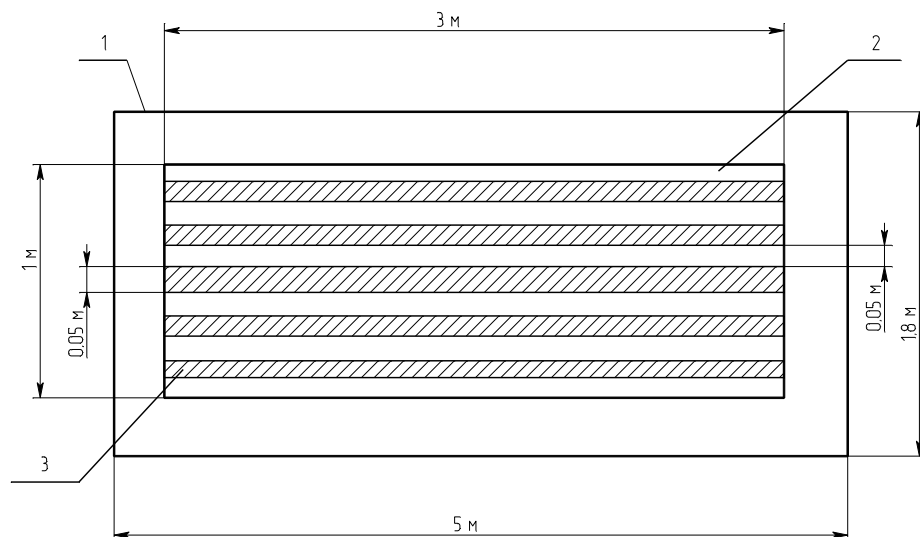


Рис. 2. Схема расположения элементов модельного льда (вид сверху, нагрузка движется слева направо):

1 — чаша бассейна, 2 — модельный лёд,
3 — полосы, моделирующие продольные торосы

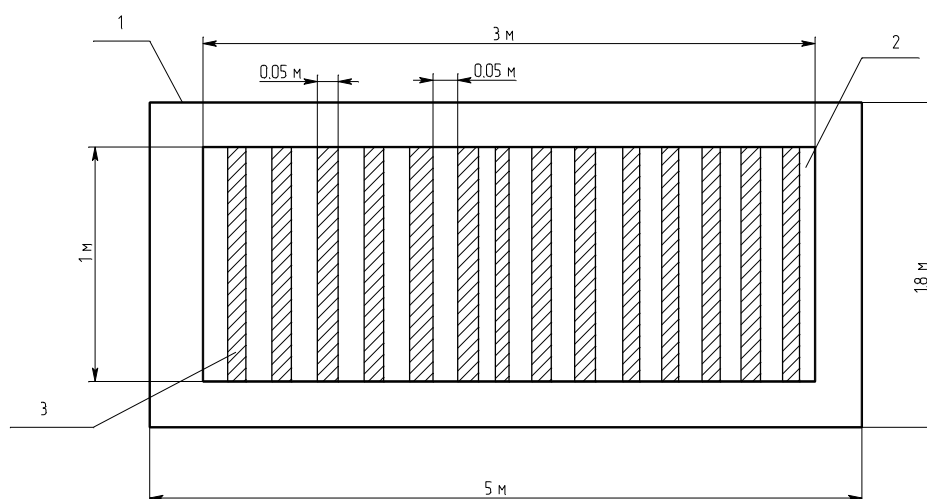


Рис. 3. Схема расположения элементов модельного льда (вид сверху, нагрузка движется слева направо):

1 — чаша бассейна, 2 — модельный лёд,
3 — полосы, моделирующие поперечные торосы

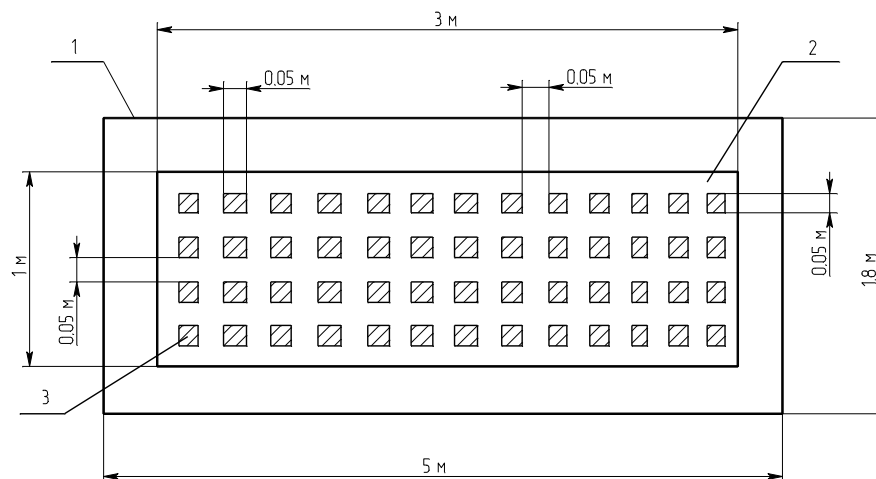


Рис. 4. Схема расположения элементов модельного льда (вид сверху, нагрузка движется слева направо): 1 – чаша бассейна, 2 – модельный лёд, 3 – элементы модельного льда

Графики показывают существенное падение высоты ИГВ с увеличением величины заглубления модели ПС. Так, при $\bar{h} = 0,5$ уменьшение H_w по сравнению с $\bar{h} = 0,2$ наблюдалось более чем в 2 раза.

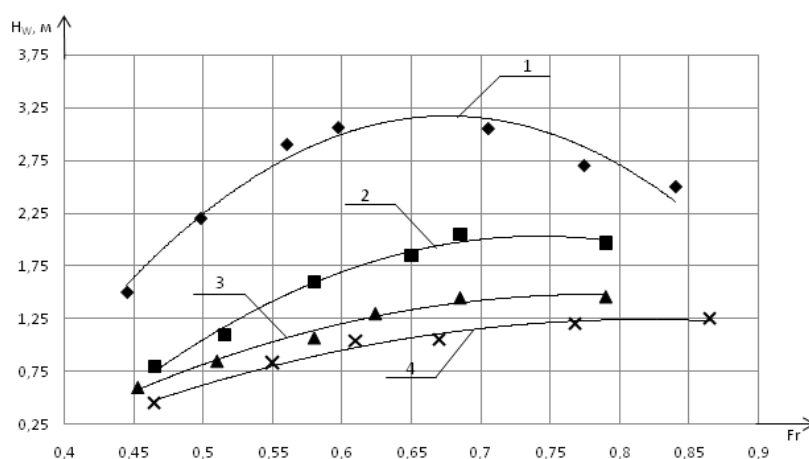


Рис. 5. Зависимость высоты волны от числа Фруда при различных относительных заглублениях (сплошной лёд): 1(♦) – $\bar{h} = 0,2$; 2(■) – $\bar{h} = 0,3$; 3(▲) – $\bar{h} = 0,4$; 4(×) – $\bar{h} = 0,5$

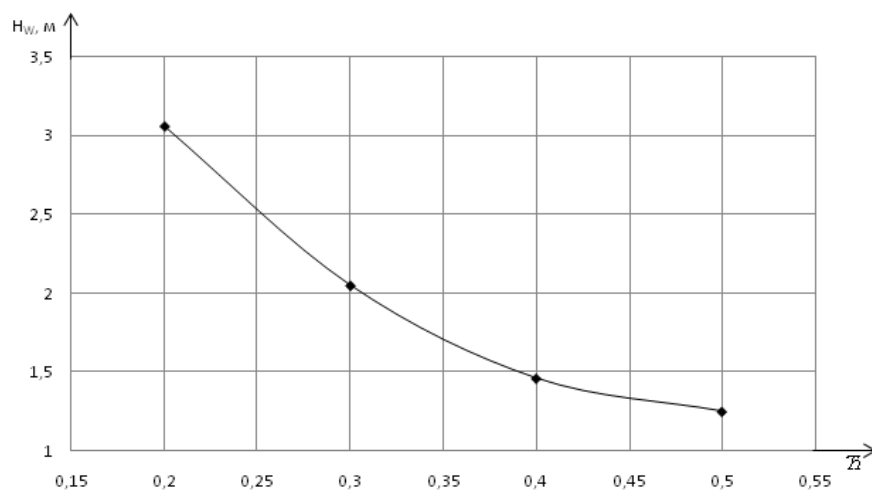


Рис. 6. Зависимость максимальной высоты ИГВ от относительного заглубления ПС (сплошной лёд)

Далее были выполнены серии экспериментов по исследованию влияния степени заторженности льда на высоту ИГВ (рис. 7).

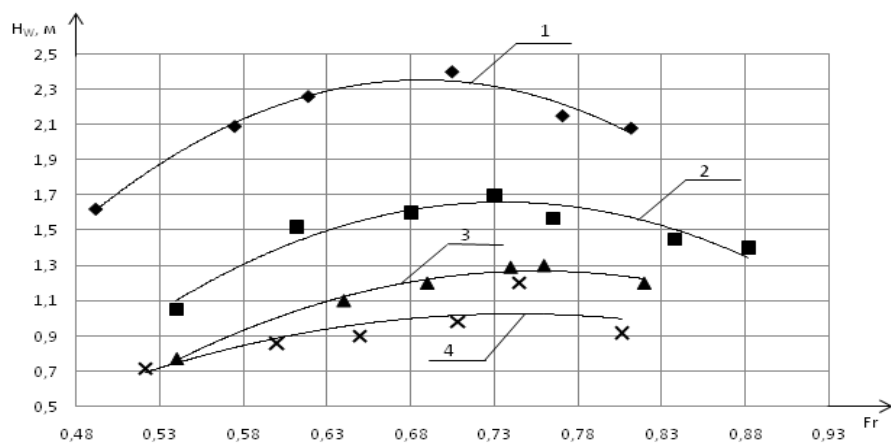


Рис. 7. Зависимость высоты волны от числа Фруда при различных относительных заглублениях (торосы расположены по схеме, представленной на рис. 4):
 1($\diamond$) – $\bar{h} = 0,2$; 2($\blacksquare$) – $\bar{h} = 0,3$; 3($\blacktriangle$) – $\bar{h} = 0,4$; 4($\times$) – $\bar{h} = 0,5$.

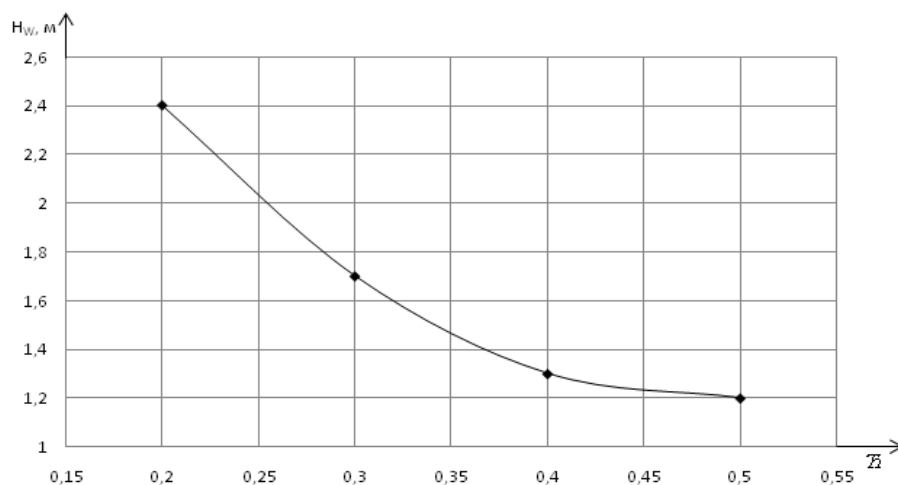


Рис. 8. Зависимость максимальной высоты ИГВ от относительного заглубления ПС (торосы расположены по схеме, представленной на рис. 4)

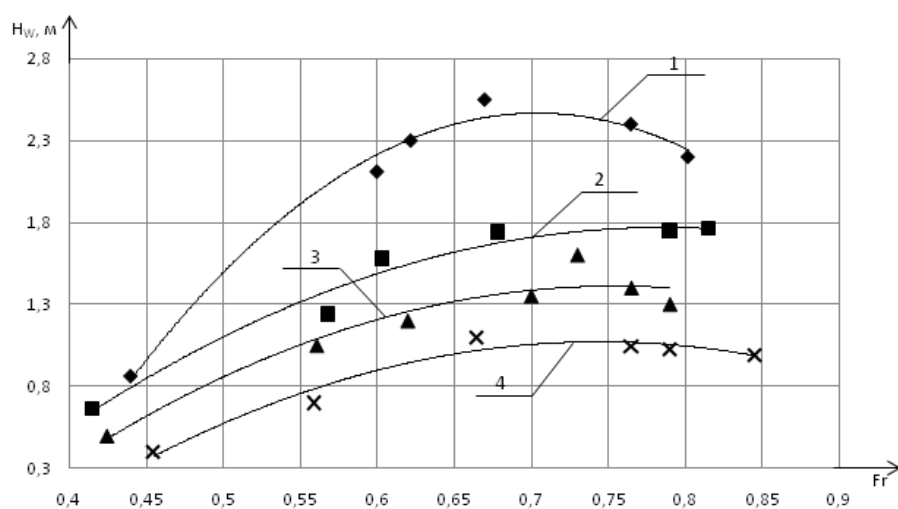


Рис. 9. Зависимость высоты волны от числа Фруда при различных относительных заглублениях (поперечные торосы):
 1($\diamond$) – $\bar{h} = 0,2$; 2($\blacksquare$) – $\bar{h} = 0,3$; 3($\blacktriangle$) – $\bar{h} = 0,4$; 4($\times$) – $\bar{h} = 0,5$

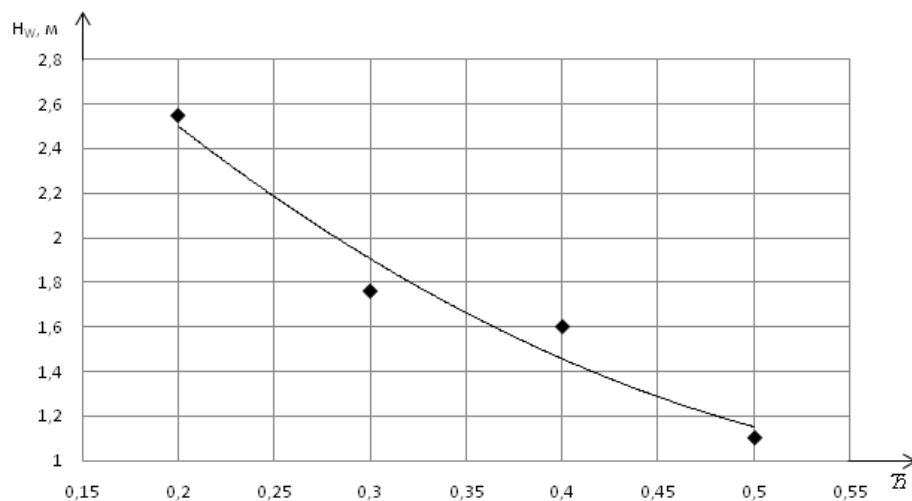


Рис. 10. Зависимость максимальной высоты ИГВ от относительного заглубления ПС (поперечные торосы)

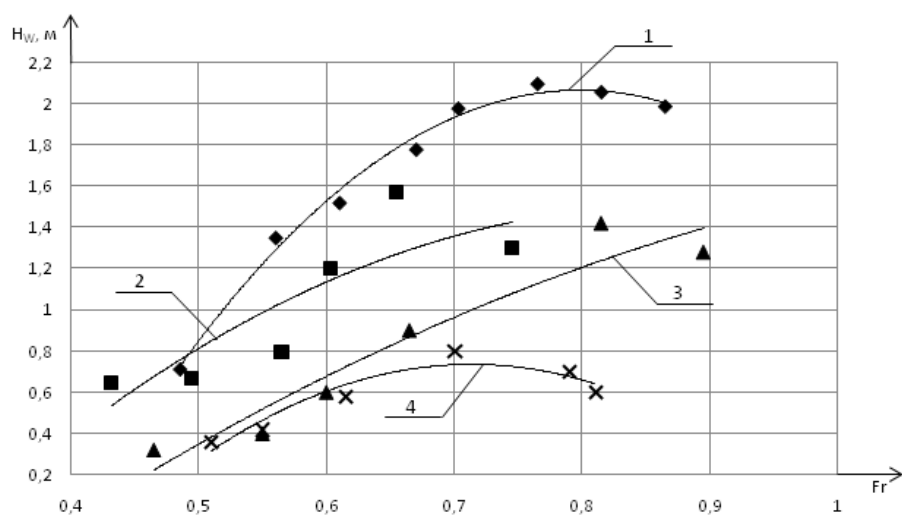


Рис. 11. Зависимость высоты волны от числа Фруда при различных относительных заглублениях (продольные торосы):
 1($\diamond$) – $\bar{h} = 0.2$; 2($\blacksquare$) – $\bar{h} = 0.3$; 3($\blacktriangle$) – $\bar{h} = 0.4$; 4($\times$) – $\bar{h} = 0.5$

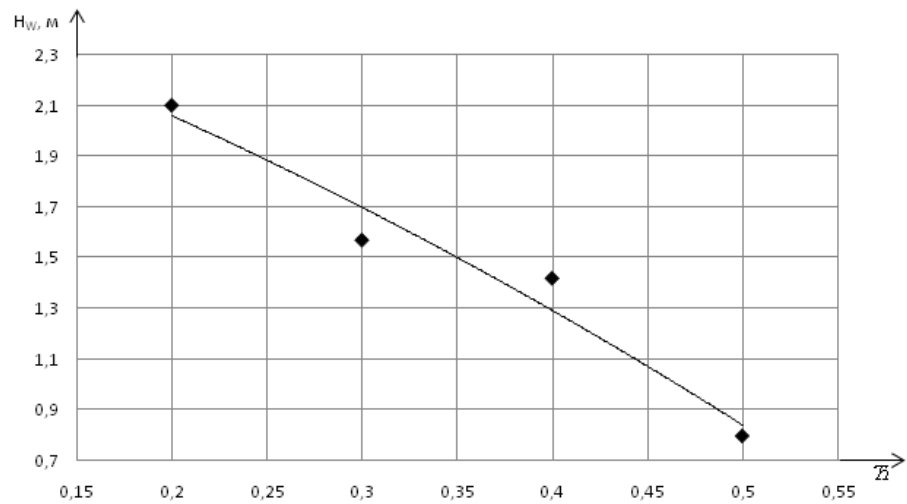


Рис. 12. Зависимость максимальной высоты ИГВ от относительного заглубления ПС (продольные торосы)

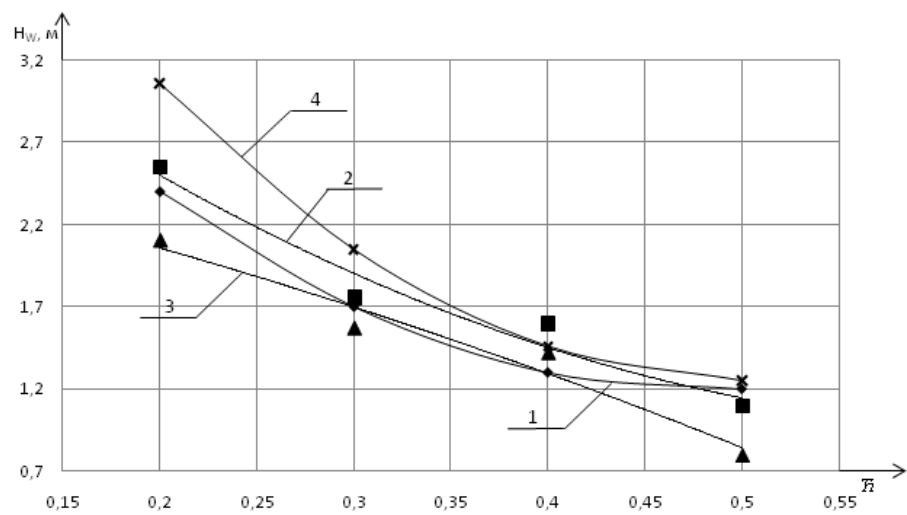


Рис. 13. Зависимость максимальной высоты ИГВ от относительного заглубления ПС

при различной ориентации гряды торосов:

- 1(♦) — торосы расположены по схеме, представленной на рис. 4;
 2(■) — поперечные торосы; 3(▲) — продольные торосы;
 4(×) — сплошной лёд

Как и следовало ожидать, увеличение заглубления судна независимо от степени заторошенности и ориентации гряды торосов по отношению к направлению его движения приводит к уменьшению высоты возбуждаемых ИГВ. В целом графики показывают, что наличие заторошенных участков снижает высоту генерируемых от движения погружённого тела ИГВ на 25–35 % в зависимости от ориентации гряды. Наименьшая высота волны наблюдалась при движении нагрузки вдоль продольных торосов, следовательно, если при возникшей необходимости разрушения ледяного покрова ИГВ подводным судном с помощью ледовой разведки не обнаружено участков незаторошенного льда достаточной протяжённости, то судну для повышения эффективности разрушения льда следует двигаться с критической скоростью перпендикулярно гряде торосов. Увеличение заглубления приводит к существенному падению высоты ИГВ и соответственно эффективности разрушения льда (рис. 13).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земляк В. Л., Баурин Н. О., Курбацкий Д. А. Лаборатория «Ледотехники» // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2013. № 1(12). С. 68–77.
2. Козин В. М., Земляк В. Л. Физические основы разрушения ледяного покрова резонансным методом. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, ПГУ им. Шолом-Алейхема, АмГПУ. 2013. 250 с.
3. Козин В. М., Онищук А. В., Марьин Б. Н. и др. Лёдоразрушающая способность изгибно-гравитационных волн от движения объектов. Владивосток: Дальнаука, 2005. 191 с.
4. Zemlyak V. L., Kozin V. M., Baurin N. O. Influence of Peculiarities of the Form of a Submarine Vessel on the Parameters of Generated Waves in the Ice Motion // The Twenty-fourth International Offshore and Polar Engineering Conference, Busan, Korea, June 15–20, 2014. pp. 1135–1140.

* * *

Bai Xiaolong, Zemlyak Vitaliy L., Baurin Nikita O., Rogozhnikova Elena G.
THE RESEARCH OF INFLUENCE OF HUMMOCKED ICE ON THE PARAMETERS
OF FLEXURAL-GRAVITY WAVES FROM THE SUBMERGED BODY MOVEMENT

⁽¹⁾ College of shipbuilding engineering Harbin Engineering University, Harbin, China;

^{2,3} Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan;

⁴ Amur State University of Humanities and Pedagogy, Komsomol'sk-on-Amur)

This paper presents study of influence of longitudinal and transverse hummocks on the ice cover deformation state caused by submarine vessel motion under the ice cover.

Keywords: submarine; ice; hummocks; flexural-gravity wave.

REFERENCES

1. Zemlyak V. L., Baurin N. O. and Kurbaekiy D. A. Laboratory «Ice technology» [Laboratoriya «Ledotekhniki»], *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*, 2013, no. 1(12). pp. 68–77.

2. Kozin V. M., Zemlyak V. L. *Fizicheskie osnovy razrusheniya ledyanogo pokrova rezonansnym metodom* (Physical Fundamentals of Ice Cover Destruction Resonance Method), Komsomolsk-on-Amur, 2013. 250 p.
3. Kozin V. M., Onishchuk A. V. and etc. *Ledorazrushayushchaya sposobnost' izgibno-gravitatsionnykh voln ot dvizheniya ob"ektov* (Ice-Breaking Capacity of Flexural-Gravity Waves Produced by Motion of Objects), Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2005. 191 p.
4. Zemlyak V. L., Kozin V. M., Baurin N. O. Influence of Peculiarities of the Form of a Submarine Vessel on the Parameters of Generated Waves in the Ice Motion // The Twenty-fourth International Offshore and Polar Engineering Conference, Busan, Korea, June 15 – 20, 2014. pp. 1135 – 1140.

* * *

УДК 621.311.1

М. В. Канделя, В. Л. Земляк**УСТАНОВКА МОБИЛЬНАЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГОЛОЛЁДА
С ПРОВОДА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Предлагается установка мобильная для удаления гололёда с проводов линии электропередач. Технический результат — повышение эффективности удаления гололёда с проводов воздушных линий электропередач. Установка включает: гусеничное транспортное средство для обслуживания линии электропередач, на котором шарнирно закреплена штанга с возможностью поворота относительно шарнира в вертикальной плоскости. Обледеневший провод охватывается двумя роликами с насечками и очищает его ото льда.

Ключевые слова: установка мобильная, гололёд, линия электропередач, штанга, ролики с насечками.

Установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач включает в себя гусеничное транспортное средство для обслуживания линии электропередач с закрытым кузовом, на котором шарнирно закреплена штанга с возможностью поворота относительно шарнира в вертикальной плоскости, а к другому концу штанги прикреплен гибкий трос, перекинутый через блок, также закреплённый на закрытом кузове, на конце которого размещён груз; приспособление для удаления гололёда с провода линии электропередач, содержащее планку с закреплёнными на ней, с одной стороны, пальцем, перпендикулярно приваренным к середине планки, а с другой стороны, двумя роликами с ребордами и насечками на наружной поверхности ролика в виде зубьев с возможностью вращения и изменения расстояния между ними, симметрично расположенными от оси пальца, при этом на загнутом конце штанги закреплены две параллельные между собой пластины с отверстием под диэлектрическую втулку, а на штанге установлен гидроцилиндр двустороннего действия, шток которого через диэлектрическую втулку шарнирно соединён с планкой.

На рисунке 1 изображена установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач, исходное положение, вид слева;

Канделя Михаил Васильевич — кандидат технических наук, профессор (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: kandelya79@mail.ru.

Земляк Виталий Леонидович — кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

© Канделя М. В., Земляк В. Л., 2017

на рисунке 2 — то же самое, начало работы, вид слева; на рисунке 3 — то же самое, работа, вид сзади (вид А, рис. 2); на рисунке 4 — штанга с приспособлением, в аксонометрии, вид слева.

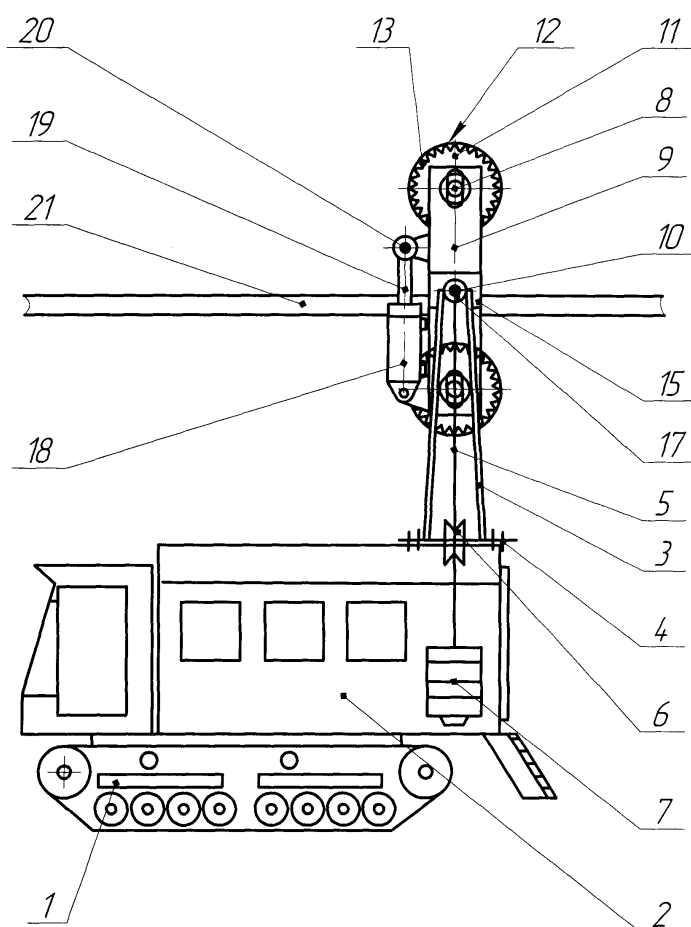


Рис. 1. Установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач (исходное положение, вид слева):
 1 — гусеничное средство; 2 — закрытый кузов; 3 — штанга; 4 — шарнир;
 5 — гибкий трос; 6 — блок; 7 — груз; 8 — приспособление; 9 — планка;
 10 — палец; 11 — ролик; 12 — реборда; 13 — насечка;
 18 — гидроцилиндр двухстороннего действия;
 19 — шток; 20 — диэлектрическая втулка;
 21 — провод линии электропередач

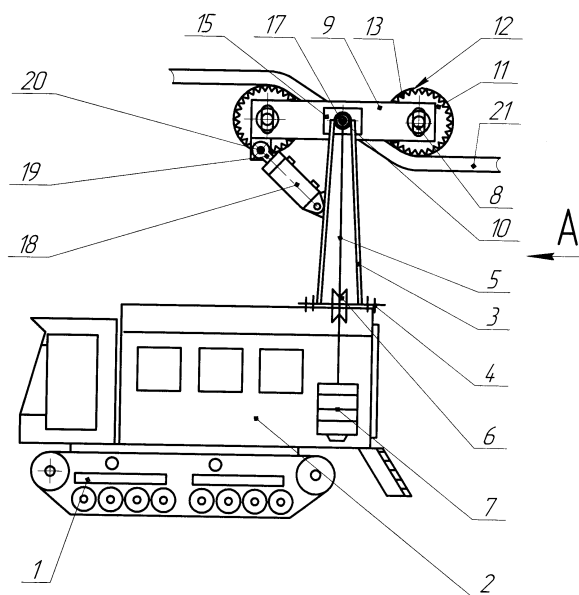


Рис. 2. Установка мобильная для удаления гололеда с провода линии электропередач (начало работы)

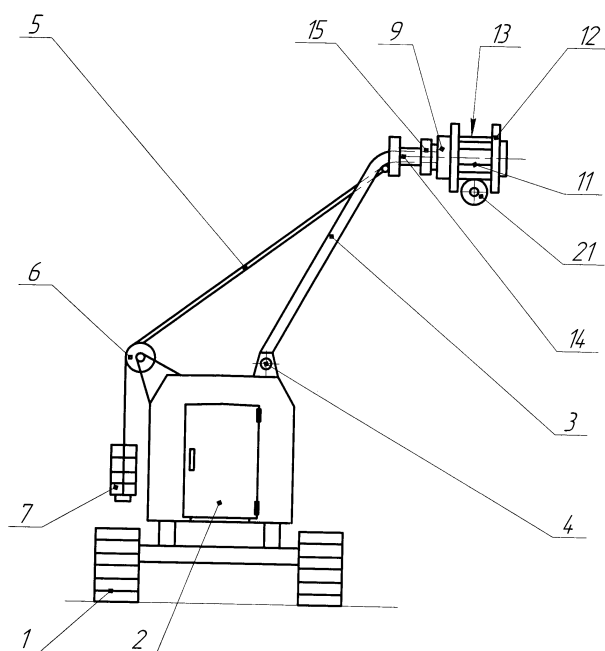


Рис. 3. Установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач (вид сзади)

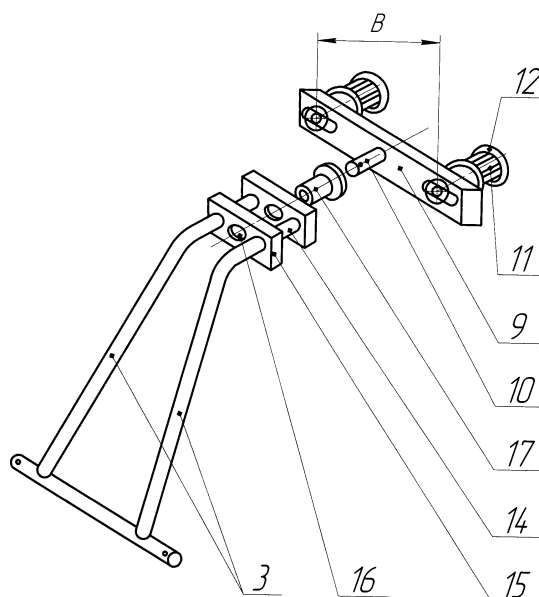


Рис. 4. Штанга с приспособлением в аксонометрии (вид слева)

Установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач (рис. 1–3) включает в себя гусеничное транспортное средство 1 для обслуживания линии электропередач с закрытым кузовом 2, на котором шарнирно закреплена штанга 3 с возможностью поворота относительно шарнира 4 в вертикальной плоскости, а к другому концу штанги 3 прикреплен гибкий трос 5, перекинутый через блок 6, также закреплённый на закрытом кузове 2, на конце которого размещён груз 7, приспособление 8 (рис. 4) для удаления гололёда с провода линии электропередач, содержащее планку 9 с закреплёнными на ней, с одной стороны, пальцем 10, перпендикулярно приваренным к середине планки 9, а с другой стороны, — два ролика 11 с ребордами 12 и насечками 13 на наружной поверхности ролика 11 в виде зубьев с возможностью вращения и изменения расстояния «В» между ними, симметрично расположенных от оси пальца 10, при этом на загнутом конце 14 штанги 3 закреплены две параллельные между собой пластины 15 с отверстием 16 под диэлектрическую втулку 17, а на штанге 3 (рис. 1, 2) установлен гидроцилиндр 18 двустороннего действия, шток 19 которого через диэлектрическую втулку 20 шарнирно соединён с планкой 9 (рис. 4).

Для выполнения работ по удалению гололёда с провода линии электропередач переоборудуют серийное гусеничное транспортное средство 1 для обслуживания линии электропередач с закрытым кузовом 2: шарнирно устанавливают на закрытом кузове 2 штангу 3, с возможностью поворота относительно шарнира 4 в вертикальной плоскости

сти, а к другому концу штанги 3 прикрепляют гибкий трос 5 и перекидывают его через блок 6, также закреплённый на закрытом кузове 2, на конце которого размещён груз 7.

На второй конец штанги 3 устанавливают приспособление 8 с планкой 9, с закреплёнными на ней, с одной стороны, пальцем 10, перпендикулярно приваренным к середине планки 9, а с другой стороны, — два ролика 11 с ребордами 12 и насечками 13 на наружной поверхности ролика 11 в виде зубьев, с возможностью вращения и изменения расстояния «В» между ними, симметрично расположенных от оси пальца 10, который через диэлектрическую втулку 17 устанавливают в отверстие 16 пластин 15, параллельных между собой и закреплённых на загнутом конце 14 штанги 3, на которую устанавливают гидроцилиндр 18 двустороннего действия, шток 19 которого через диэлектрическую втулку 20 шарнирно соединяют с планкой 9.

Работает установка мобильная следующим образом: гусеничное транспортное средство 1 подъезжает к линии электропередач и с помощью груза 7 устанавливает максимально возможную высоту штанги 3 с приспособлением 8.

С помощью гидроцилиндра 18 двустороннего действия приводят приспособление 8 с планкой 9 в вертикальное положение (рис. 1). Подъезжают к проводу до соприкосновения его с планкой 9 и гидроцилиндром 18 приводят приспособление 8 с планкой 9 в горизонтальное положение (рис. 2), при этом провод зажимается между роликами 11 с ребордами 12 и насечками 13 на наружной поверхности ролика 11 в виде зубьев, и начинают движение. Ролики 11 начнут разрушать гололёд на проводе насечками 13 на наружной поверхности ролика 11 в виде зубьев и будут вращаться. Разрушению гололёда способствует также и перегиб провода с гололёдом, образующийся между роликами 11, а реборды 12 удерживают провод 21 с гололёдом в контакте с роликами 11.

В зависимости от количества гололёда на проводе 21 и его состояния изменяют расстояние «В» между роликами 11.

Применение предлагаемой установки мобильной позволит улучшить качество удаления гололёда с провода линии электропередач, переоборудовав серийное гусеничное транспортное средство для обслуживания линии электропередач — установки на него несложного приспособления в виде роликов, закреплённых на планке с возможностью вращения и изменения расстояния между ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2582587 РФ, МПК H02G 7/16. Установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач / Канделя М. В., Шилько П. А., Канделя Н. М., Баженова Н. Г., Земляк В. Л., Ипатов К. И., Сенников В. А., заявитель и патентообладатель: ПГУ им. Шолом-Алейхема. № 2015111301/07, заявл. 27.03.2015, опубл. 27.04.2016, Бюл. № 12.

2. Пат. № 2582660 РФ, МПК H02G 7/16. Установка мобильная для удаления гололёда с провода линии электропередач / Канделя М. В., Шилько П. А., Канделя Н. М., Баженова Н. Г., Земляк В. Л., Ипатов К. И., Сенников В. А., заявитель и патентообладатель: ПГУ им. Шолом-Алейхема. № 2015111304/07, заявл. 27.03.2015, опубл. 27.04.2016, Бюл. № 12.
3. Пат. № 2600124 РФ, МПК H02G 7/16. Установка мобильная для удаления гололёда с линии электропередач / Канделя М. В., Шилько П. А., Канделя Н. М., Баженова Н. Г., Земляк В. Л., Ипатов К. И., Сенников В. А., заявитель и патентообладатель: ПГУ им. Шолом-Алейхема. № 2015111303/07, заявл. 27.03.2015, опубл. 20.10.2016, Бюл. № 29.

* * *

Kandelya Mikhail V., Zemlyak Vitaliy L.**INSTALLATION MOBILE REMOVAL OF ICE WITH WIRE LINES**

(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

Suggested installation mobile removal of ice with wire lines. The technical result is improving the efficiency of removal of ice from the wires of overhead transmission lines. The installation includes: a caterpillar vehicle to service the power line on which a rod rotatable to pivot in a vertical plane is hinged. Icy wire is covered by two rollers with notches and clears it from ice.

Keywords: mobile installation, ice, line, rod, rollers with notches

REFERENCES

1. Pat. No. 2582587 of the Russian Federation, IPC H02G 7/16. Installation mobile removal of ice with wire lines/ Kandelya M. V., Shilko P. A., Bazhenova N. G., Zemlyak V. L., Sennikov V. A., Ipatov, K. I., applicant and patentee: Sholom-Aleichem Priamursky State University. No. 2015111301/07, Appl. 27.03.2015, publ. 27.04.2016, Bull. No. 12. (In Russ.).
2. Pat. No. 2582660 of the Russian Federation, IPC H02G 7/16. Installation mobile removal of ice with wire lines/ Kandelya M. V., Shilko P. A., Bazhenova N. G., Zemlyak V. L., Sennikov V. A., Ipatov, K. I., applicant and patentee: Sholom-Aleichem Priamursky State University. No. 2015111304/07, Appl. 27.03.2015, publ. 27.04.2016, Bull. No. 12. (In Russ.).
3. Pat. No. 2600124 of the Russian Federation, IPC H02G 7/16. Installation mobile removal of ice with wire lines/ Kandelya M. V., Shilko P. A., Bazhenova N. G., Zemlyak V. L., Sennikov V. A., Ipatov, K. I., applicant and patentee: Sholom-Aleichem Priamursky State University. No. 2015111303/07, Appl. 27.03.2015, publ. 20.10.2016, Bull. No. 29. (In Russ.).

* * *

УДК 631.4

М. В. Канделя, Н. М. Канделя**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА
ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ**

В статье рассматривается проблема деградации почвы, её плодородного слоя в первую очередь сельскохозяйственного назначения, допустимые удельные давления, с чем связаны проблемы переуплотнения почв, особенно в дальневосточном регионе, а также предложения по уменьшению вредного экологического воздействия на почву.

Ключевые слова: уплотнение почвы, деградация почвы, плодородный слой, переувлажнение почвы, агротехническая проходимость, уборка урожая, экологическое воздействие.

Уплотнение почвы, особенно сельскохозяйственного назначения, — проблема мирового значения. В связи с бурным развитием техники и технологии этот процесс ускоряется и уплотнение почвы достигает уровня, когда дальнейшее её использование для выращивания культур становится невозможным.

Проблема переуплотнения почвы в Дальневосточном федеральном округе ещё более остра, так как здесь до 90 % всех сельскохозяйственных площадей подвержены переувлажнению.

Деградацию почвы — плодородного слоя (переувлажнение, разрушение структуры, снижение плодородия) — связывают с применением техники, обладающей большой массой. В данной проблеме имеет место, помимо экологического ущерба, и серьёзный экономический, вызванный снижением урожайности до 30 % и более. Об этом свидетельствуют данные исследований более чем в 40 странах мира. В Российской Федерации недобор урожая составляет по зерновым 13 — 15 млн т в год.

Наиболее влияющим на плодородие почвы и сельскохозяйственных угодий является фактор её переуплотнения под воздействием применения различных видов техники — тракторов, комбайнов и других средств производства сельскохозяйственных культур.

Мировой парк всех видов тягово-транспортных уборочных средств, применяемых в агропромышленном комплексе, неуклонно и бурно рас-

Канделя Михаил Васильевич — кандидат технических наук, профессор (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: kandelya79@mail.ru.

Канделя Николай Михайлович — кандидат технических наук, доцент, заместитель председателя правительства Еврейской автономной области (Правительство Еврейской автономной области, Биробиджан); e-mail: kandelya79@mail.ru.

© Канделя М. В., Канделя Н. М., 2017

тёт, растёт производительность, мощность и, как следствие, эксплуатационная масса этих средств, что, в свою очередь, ведёт к чрезмерному переуплотнению почвы. Масштабы вредного воздействия на плодородие земли в ближайшие 20–30 лет могут привести к пагубным экологическим последствиям и угрозе продовольственной безопасности.

Современные зерноуборочные комбайны «Вектор», «Акрос», «Полесье» и др. имеют эксплуатационный вес 25–30 т (рис. 1–3).



Рис. 1. Зерноуборочный комбайн VECTOR 410



Рис. 2. Зерноуборочный комбайн ACROS 595 Plus



Рис. 3. Зерноуборочный комбайн «Полесье»

Допустимое удельное давление для дальневосточных полей, особенно переувлажнённых, составляет не более $0,5 \text{ кг/см}^2$ [2].

В колёсном варианте комбайн превышает данный показатель в 8–10 раз.

Какими способами можно обеспечить агротехническую проходимость современного комбайна [3–6]?

Если раньше комбайны моделей СК-3, СКГ-3 имели ёмкость бункера $1,8 \text{ м}^3$, СКД-5 «Сибиряк» — $2,3 \text{ м}^3$, «Енисей-1200» — 3 м^3 , то «Енисей-950» (рис. 4) и его модификации — 5 м^3 , как и ёмкость бункеров комбайнов «Акрос» и «Вектор».

Современные комбайны, а их иначе, как мастодонтами, и не назовёшь, имеют ёмкость бункера 7–8 м^3 , в котором размещается до 6 т зерна, и эта масса находится на высоте более 4-х м над уровнем почвы.

Существует зависимость, при которой для увеличения массы зерна, перевозимого в бункере, на 1 т, необходимо увеличить массу металла комбайна также на 1 т.

Традиционная технология уборки урожая зерновых культур и сои в Дальневосточном регионе предполагает всю биологическую массу, скопленную жаткой, направлять в молотилку комбайна, где хлебная масса обмолачивается штифтовым, а затем бильным барабанами.

Соотношение массы зерна к солоистой массе составляет 1:2 и более.

Учитывая, что ширина жатки составляет 6–9 м, то в молотилку комбайна поступает большое количество биологической массы, а это требует больших усилий для её обмолота.



Рис. 4. Зерноуборочный комбайн «Енисей-950»

По этим причинам мощность двигателя на современном комбайне достигает величин от 200 до 500 л. с., а ёмкость топливного бака — 500 л. Одной заправки такого бака топливом хватает только на одну смену.

Стоимость одного литра дизтоплива превышает стоимость одного литра бензина А-95 ~ 40 руб. Современные дизельные двигатели расходуют до 180 г/л. с. ч. топлива. По этим причинам стоимость топлива для работы комбайна в одну смену существенно повышается.

Ранее выпускаемые комбайны СКГ-3 и СКД-5 были укомплектованы двигателями СМД-7 мощностью 65 л. с., соответственно и расход топлива был в разы меньшим.

Решение применять в Дальневосточном регионе комбайны с двигателем относительно небольшой мощности было правильным, так как урожайность здесь, по наблюдениям за последние 12 лет, существенно снизилась. Так, для сои, возделываемой на Дальнем Востоке, 70 % площадей преимущественно имеют среднюю урожайность 10 ц/га, а зерновых культур — 15 ц/га, поэтому экономически невыгодно применять высокопроизводительные комбайны на Дальнем Востоке.

Очень важным показателем является стоимость намолота 1 кг бункерного зерна.

Так, стоимость 1 кг зерна, намолоченного комбайном КЗС-3 «Русь», в 2 раза дешевле 1 кг, намолоченного комбайном «Енисей-950» и его модификациями.

Такая же картина с ростовскими и зарубежными высокопроизводительными комбайнами.

Китайский комбайн John Deere 3316 (рис. 5) и КЗС-6 «Цзялянь-Шимановск-Амурский-6» (рис. 6) по этому показателю сопоставимы с комбайном КЗС-3 «Русь».



Рис. 5. Зерноуборочный комбайн John Deere 3316



Рис. 6. Зерноуборочный комбайн КЗС-6 «Цзялянь-Шимановск-Амурский-6»

Предлагаются новые способы и комбайны для уборки урожая зерновых культур и сои. Анализ различных технологий уборки зерновых показал, что по критерию «максимум производительности при минимуме энергозатрат» одной из перспективных считается технология уборки зерновых с очёсом растений на корню.

ОАО «Пензмаш» в 2005–2012 гг. изготовило 66 жаток для очёса и отправило в 25 регионов страны на испытания. Схема жатки показана на рисунках 7–9.

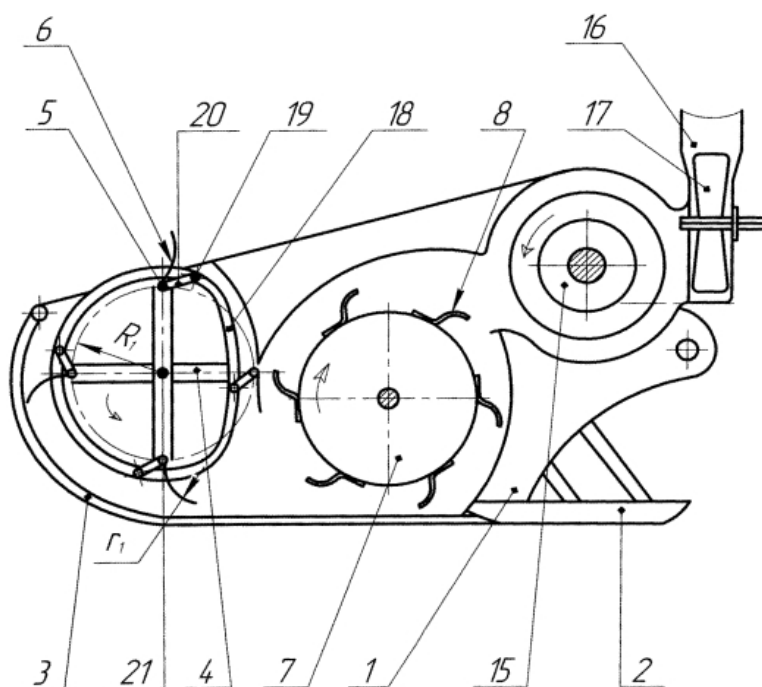


Рис. 7. Устройство жатки для очёса зерновых культур на корню [1]

Жатка для очёса зерновых культур на корню (рис. 7) содержит копирующую платформу 1 с опорными башмаками 2 и полевыми делителями 3, мотовило 4 с граблинами 5 с пружинными пальцами 6 (рис. 8), барабан 7 с очёсывающими гребенками 8 с зубьями 9 и отверстиями 10 в местах соединения их боковых кромок 11 (рис. 9), выполненных по гипоциклоиде, построенной при соотношении $R = 3r$ (рис. 10), две ветви 12 которой исходят из вершины 13 зуба 9 и пересекаются с осью x направляющей окружности 14 в местах их соединения, где R – радиус направляющей окружности 14, r – радиус производящей окружности.

Шнек 15, выгрузное устройство 16 с вентилятором 17. Мотовило 4 выполнено с копирующей дорожкой 18 для роликов 19, связанных с

граблями 5 с пружинными пальцами 6 посредством щеки 20 (рис. 8), при этом пружинные пальцы 6 загнуты по окружности с радиусом r_1 , равным радиусу R_1 , расположения граблей 5 мотвила 4 относительно оси 21 его вращения (рис. 7) $R_1 = r_1$.

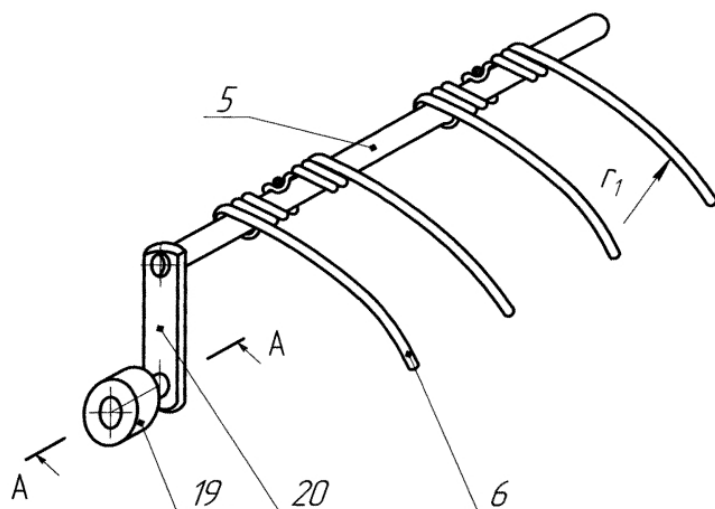


Рис. 8. Устройство жатки для очёса зерновых культур на корню [1]

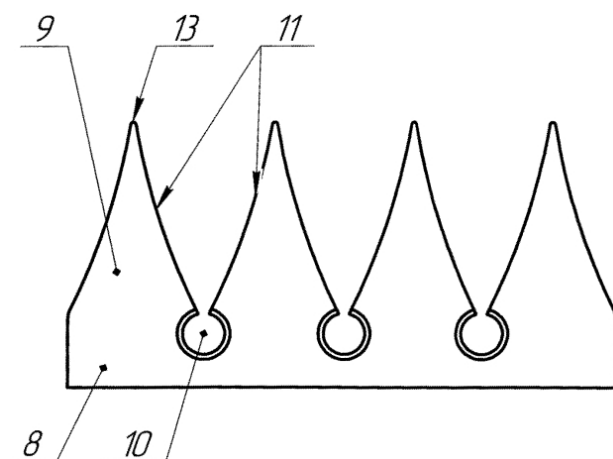


Рис. 9. Устройство жатки для очёса зерновых культур на корню [1]

Ролики 19 копирующей дорожки 18 (рис. 11), связанные с граблями 5 с пружинными пальцами 6 посредством щеки 20 (рис. 8), могут быть выполнены из полимерного материала, например, из капролана.

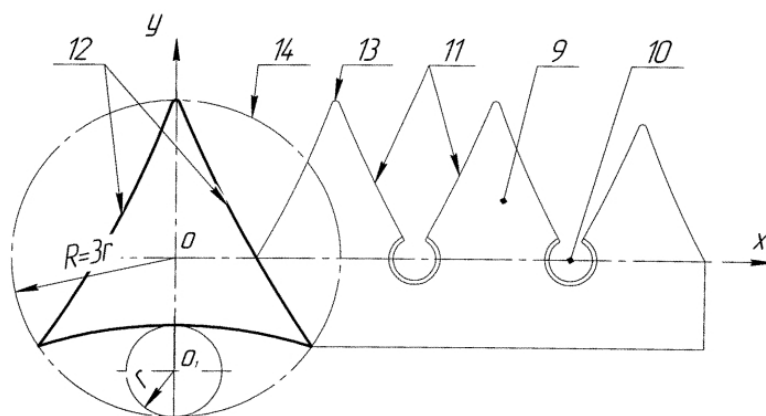


Рис. 10. Устройство жатки для очёса зерновых культур на корню [1]

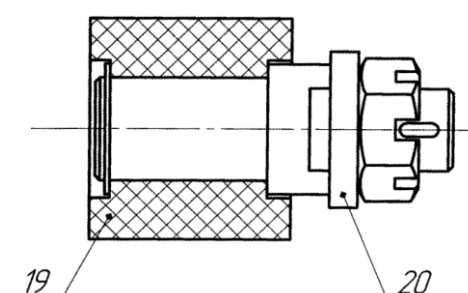


Рис. 11. Устройство жатки для очёса зерновых культур на корню [1]

При движении жатки для очёса зерновых культур на корню (рис. 7) копирующая платформа 1, опираясь на опорные башмаки 2, с помощью полевых делителей разделяет хлебный массив.

Мотовило 4 граблинами 5 с пружинными пальцами 6 (рис. 8) подводит стебли убираемой культуры к барабану 7 с очёсывающими гребёнками 8 (рис. 9) с зубьями 9 и отверстиями 10 в местах соединения их боковых кромок, выполненных по гипоциклоиде, которые прочёсывают стебли убираемой культуры снизу вверх, обрывают колосья и направляют их к шнеку 15, затем через выгрузное устройство 16 вентилятором 17 очёсанная хлебная масса загружается в ёмкость рядом идущего транспортного средства или в приёмный бункер молотильного устройства зерноуборочного комбайна.

Благодаря тому, что мотовило 4 выполнено с копирующей дорожкой 18 для роликов 19, связанных с граблинами 5 с пружинными паль-

цами 6 посредством щеки 20, можно исключить или уменьшить «мертвую зону» между мотовилом 4 и барабаном 7 с очёсывающими гребёнками 8 с зубьями 9 и улучшить подачу хлебной массы к очёсывающим гребёнкам 8 барабана 7.

Выполнение пружинных пальцев 6, загнутых по окружности с радиусом r , равным радиусу R , расположения граблин 5 мотовила 4 относительно оси 21 его вращения, улучшает захватывающую способность пружинных пальцев 6 граблин 5 мотовила 4.

Выполнение роликов 19 копирующей дорожки 18, связанных с граблинами 5 с пружинными пальцами 6 посредством щеки 20, из полимерного материала, например, из капролана, позволяет:

1. Сократить число шарикоподшипников жатки;
2. Снизить расход металла на изготовление жатки;
3. Снизить трудоёмкость изготовления жатки.

По результатам многочисленных теоретических и экспериментальных исследований и проверок опытно-конструкторских разработок в реальных условиях эксплуатации показывают, что технология уборки зерновых с очёсом растений на корню является перспективной. Но все эти работы проводились на зерновых культурах.

В ЕАО и Амурской области основной культурой является соя. Необходимо провести серьёзные испытания по уборке сои, доработать (разработать) новую полевую машину (комбайн) для этой технологии. По нашему мнению, использование предлагаемого комбайна для уборки зерновых и сои методом очёса растений на корню позволяет:

1. Уменьшить вредное экологическое воздействие ходовой части комбайна на почву за счёт снижения массы комбайна;
2. Повысить производительность комбайна за счёт лучшей работы очистки молотилки комбайна;
3. Снизить уровень потерь зерна за счёт разгрузки очистки молотилки комбайна от соломистой массы;
4. Снизить процент травмирования зерна за счёт сокращения рабочих органов, воздействующих на зерно при его обмолоте и очистке;
5. Упростить конструкцию молотилки комбайна за счёт исключения «лишних» рабочих органов;
6. Снизить затраты при изготовлении молотилки комбайна;
7. Уменьшить потребляемую мощность двигателя;
8. Уменьшить расход топлива за счёт снижения мощности двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жатка для очёса зерновых культур на корню: пат. 2569957 РФ: МПК A01D41/08 / Канделя М. В., Канделя Н. М., Шилько П. А., Гринкруг Л. С., Земляк В. Л.; заявитель и патентообладатель ПГУ им. Шолом-Алейхема. № 201403740/13; заявл. 04.02.2014; опубл. 10.12.2015, Бюллетень № 34. 7 с.
2. Канделя М. В. Влияние компоновочной схемы уборочной машины на распре-

деление её массы по опорам // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 1. С. 2–3.

3. Канделя М. В. Выбор типажа комбайна // Сельский механизатор. 2014. № 2. С. 20–21.
4. Канделя М. В. Использование уборочно-транспортных машин ходовой системой на резиномармированных гусеницах // Научное обозрение. 2013. № 2. С. 56–58.
5. Канделя М. В. Равномерная загрузка молотилки зерноуборочного комбайна – резерв для повышения его производительности // Научное обозрение. 2013. № 2. С. 59–61.
6. Канделя М. В. Эволюция молотильных устройств гусеничных рисоуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. 2013. № 3. С. 13–14.

* * *

**Kandelya Mikhail V., Kandelya Nikolay M.
INCREASE OF EFFICIENCY OF PRODUCTION
OF GRAINED CROPS IN THE FAR EASTERN REGION**

(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The article deals with the problem of soil degradation, its fertile layer primarily for agricultural purposes, permissible specific pressures. What are the problems of soil re-consolidation, especially in the Far Eastern region, as well as proposals to reduce the harmful environmental impact on the soil.

Keywords: soil compaction, soil degradation, fertile soil, waterlogging of soil, agrotechnical patency, harvesting, environmental impact.

REFERENCES

1. Kandelya M. V., Kandelya N. M., Shil'ko P. A., Grinkrug L. S., Zemlyak V. L. *Zhatka dlya ochesa zernovykh kul'tur na kornyuu: patent 2569957 RF: MPK A01D41/08* (Harvester for harvesting crops on the vine: patent no. 2569957 RU: MPK A01D41/08), published on 10.12.2015, Bulletin no. 34. 7 p.
2. Kandelya M. V. The influence of harvesting machine assembly scheme for the distribution of its mass on the pillars [Vliyanie komponovoy skhemy uborochnoy mashiny na raspredelenie ee massy po oporam], *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2014, no. 1, pp. 2–3.
3. Kandelya M. V. Choice facial features combine [Vybor tipazha kombayna], *Sel'skiy mekhanizator*, 2014, no. 2, pp. 20–21.
4. Kandelya M. V. Usage of harvesting-transport machinery with rubber-reinforced tracks drive system [Ispol'zovanie uborochno-transportnykh mashin khodovoy sistemoy na rezinoarmirovannykh gusenitsakh], *Nauchnoe obozrenie*, 2013, no. 2, pp. 56–58.
5. Kandelya M. V. Balanced load of a harvesting combine thresher as a reserve for increasing its productivity [Ravnomernaya zagruzka molotilki zernouborochnogo kombayna – rezerv dlya povysheniya ego proizvoditel'nosti], *Nauchnoe obozrenie*, 2013, no. 2, pp. 59–61.
6. Kandelya M. V. Evolution of Threshing Devices of Tracklaying Rice and Grain Harvesters [Evolutsiya molotil'nykh ustroystv gusenichnykh risozernouborochnykh kombaynov], *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2013, no. 3, pp. 13–14.

* * *

УДК 631.372:631.307

М. В. Канделя, Н. М. Канделя**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА
НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ**

Изложена концепция совершенствования конструкции уборочно-транспортных машин высокой проходимости на основе перехода на резиноармированные гусеницы, реализации принципов блочно-модульного проектирования и преемственности как реальная основа обеспечения высокой функционально-экологической эффективности использования машин зональной мобильной полевой энергетики нового поколения.

Ключевые слова: универсальное энергетическое средство; металлогусеничный ход; комбайн.

На Дальнем Востоке зерновые культуры убираются, как правило, в период сильного переувлажнения почвы, что обусловлено климатическими условиями региона. Переувлажнению подвергаются до 95 % всех пахотных площадей. Данный фактор усугубляется тем, что почвы региона по механическому составу в основном относятся к тяжелым. В этих условиях технико-экономические показатели уборочных работ, а зачатую и возможность уборки, зависят от проходимости уборочно-транспортных машин.

Природно-климатические особенности региона Дальнего Востока определяют специфику формирования зональной системы машин [2]. Требование высокой проходимости машин обуславливает необходимость использования гусеничного движителя.

Для решения этой задачи на ЗАО «Биробиджанский комбайновый завод „Дальсельмаш“» было освоено производство комбайнов на гусеничном ходу. Гусеничный ходовой аппарат создан для обеспечения уборки урожая в период переувлажнения почвы.

Главным недостатком уборочно-транспортной техники на гусеничном ходу является её узкопрофильность — большинство машин выполняет только одну операцию. Период эксплуатации данных машин 20 — 40 дней за год, а в остальное время заложенные в них колоссальные энер-

Канделя Михаил Васильевич — кандидат технических наук, профессор (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: kandelya79@mail.ru.

Канделя Николай Михайлович — кандидат технических наук, доцент, заместитель председателя правительства Еврейской автономной области (Правительство Еврейской автономной области, Биробиджан); e-mail: kandelya79@mail.ru.

© Канделя М. В., Канделя Н. М., 2017

гетические мощности, сложные трансмиссии и механизмы «замораживаются». Такое состояние дел ставит перед исследователями актуальную задачу упростить структуру системы машин, сделать её более универсальной, гибкой, технологичной.

Одно из направлений решения данной проблемы — создание мобильного универсального энергетического средства на гусеничном ходу, обеспечивающего в агрегате с системой навесных машин к нему весь комплекс полевых работ от подготовки почвы до уборки урожая (рис. 1, 2).

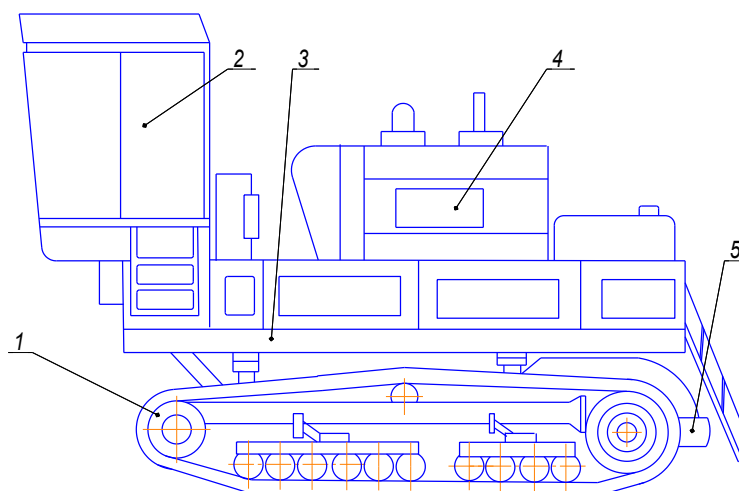


Рис. 1. Универсальное энергетическое средство на металлогусеничном ходу (УЭС-Г):
1 — гусеничная тележка; 2 — кабина с органами управления; 3 — рама-платформа;
4 — моторная установка; 5 — гидропривод ходовой части

Конструкция УЭС-Г состоит из гусеничной тележки 1, моторной установки 3, кабины с органами управления 4, размещенными на раме-платформе 2 переходного устройства, на которую навешиваются сельскохозяйственные машины, и гидропривода ходовой части 5.

В целях проверки функциональной работоспособности УЭС-Г проведены полевые испытания. На УЭС-Г навешивались картофелеуборочный комбайн и полевая платформа для уборки овощей.

Картофелеуборочный комбайн на базе УЭС-Г (рис. 2) имеет ряд отличий от ранее изготовленных образцов в БСХИ и ГСКБ завода «Дальсельмаш»: рама макетного образца выполнена съёмной, предусмотрено смещение центра тяжести комбайна посредством перемещения бункера или комбайна на раме, подкапывающая часть изготовлена путём переоборудования копателя КСТ-1,4 для копки картофеля в условиях повышенной влажности почвы.

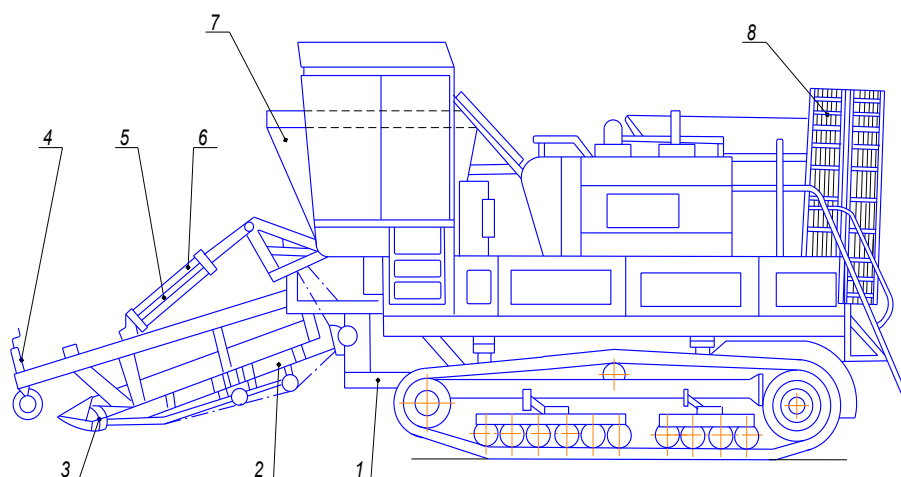


Рис. 2. Картофелеуборочный комбайн на металлогусеничном ходу:

- 1 – универсальное энергетическое средство; 2 – подкапывающее устройство;
 3 – активный лемех с дисковыми ножами; 4 – механизм регулировки глубины хода;
 5 – уравнивающее устройство; 6 – гидроцилиндр подъёма картофелекопателя;
 7 – бункер; 8 – картофелеуборочный комбайн ККУ-2А-1

Сравнение технических характеристик картофелеуборочного комбайна на гусеничном ходу и серийного комбайна представлено в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики картофелеуборочного комбайна на гусеничном ходу и серийного комбайна ККУ-2А-1 в агрегате с трактором МТЗ-80

Наименование	Комбайн на гусеничном ходу	Серийный комбайн ККУ-2А-1 с трактором МТЗ-80
Ширина захвата, м	1,4	1,4
Производительность за час основного времени, га	0,86–1,12	0,4–0,45
Число убираемых гряд, м	1	1
Глубина выкапывания гряд, м	до 0,25	до 0,20
Рабочая скорость на основных операциях, км / ч	6,2–8	1,8–4
Транспортная скорость, км / ч	до 11,3	до 16
Мощность двигателя, кВт	107	55
Удельный расход топлива, кг / га	22,8	28
Загрузочная ёмкость бункера, м ³	2,9	0,8
Среднее значение времени выгрузки бункера, мин.	4,2	2,0
Масса машины конструктивная, кг	около 9000	9100
Количество обслуживающего персонала		
– основного	1	2
– вспомогательного	2	до 6
Срок службы, годы	7	8

Испытания опытного образца картофелеуборочного комбайна на базе универсального энергетического средства на гусеничном ходу подтвердили работоспособность как отдельных узлов конструкции, так и машины в целом.

Производительность за час основного времени смены — 0,86 га, коэффициент использования времени — 0,61. Технологический процесс отвечает предъявленным агротехническим требованиям, опытный образец имеет повышенную маневренность, проходимость и производительность по сравнению с базовым вариантом ККУ-2А-1 + МТЗ-80.

Наиболее перспективными с точки зрения снижения техногенного воздействия на почву, улучшения условий работы механизаторов являются движители на резиноармированных гусеницах (РАГ) [4].

Учитывая высокий ресурс движителей с РАГ (в 4,5 раза выше, чем у металлогусеничных), в ДальНИПТИМЭСХ совместно с ГСКБ «Дальсельмаш» и ДальГАУ на основе концепции создания комплекса машин МПЭ начаты работы по созданию универсального энергетического средства с РАГ — УЭС-РГ. Первой из уборочных машин, подлежащих разработке на базе универсального энерго модуля с РАГ, была создана валковая самоходная жатка для работы в условиях повышенного увлажнения почвы.

Конструктивная схема жатки определяется навешиванием на универсальное энергетическое средство с резиноармированными гусеницами УЭС-РГ серийной валковой жатки ЖВН-6А. Агрегатирование осуществляется с помощью монтируемого на УЭС-РГ сменного оборудования (адаптера) для навески и привода рабочих органов.

Валковая самоходная жатка предназначена для скашивания зерновых, зернобобовых, сеяных трав с укладкой скошенной массы в валок.

Валковая самоходная жатка ЖВС-6РГ (рис. 3) состоит из следующих основных частей: ходового аппарата с резиноармированными гусеницами 1, рамы-платформы 8, переходного устройства для расположения сменного (жатка валковая 2, адаптер 3) и постоянного оборудования, смонтированного на подмоторной раме. На последней установлены моторно-силовая установка 6, объёмный гидропривод ходовой части 7, объёмный гидропривод технологической части 5, кабина с органами управления 4. Элементы основной гидравлической системы и электрооборудования УЭС-РГ соответствуют элементам силосоуборочного комбайна КСГ-3,2А.

Независимые объёмные гидроприводы ГСТ-90 служат для передачи мощности от двигателя к ходовой части с бесступенчатым регулированием скорости движения агрегата и к рабочим органам жатки с плавным регулированием частоты колебаний ножа режущего аппарата, частоты вращения мотопила с рабочего места механизатора. Это обуславливает увеличение производительности валкового агрегата. Теплообменники и масляные резервуары, входящие в состав гидрообъёмных приводов, взяты с серийной техники, остальные элементы входят в комплект поставки ГСТ-90.

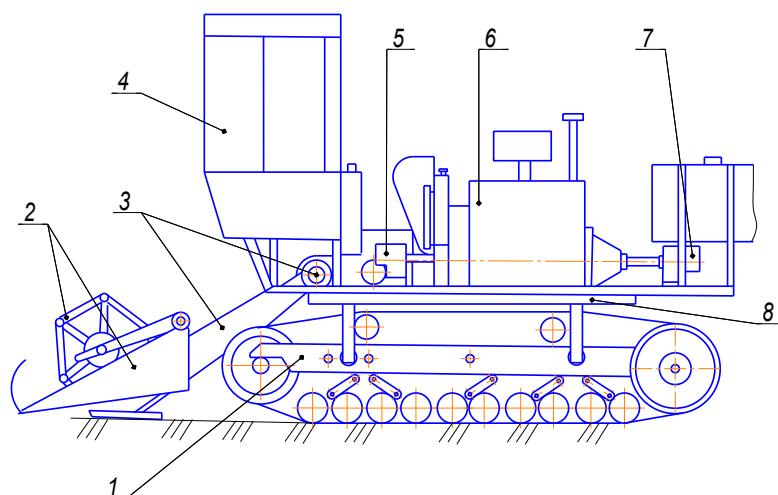


Рис. 3. Схема жатки валковой самоходной ЖВС-6РГ на базе универсального энергетического средства на резиноармированных гусеницах: 1 – ходовой аппарат; 2 – жатка валковая; 3 – адаптер; 4 – кабина с органами управления; 5 – объёмный гидропривод технологической части; 6 – моторно-силовая установка; 7 – объёмный гидропривод ходовой части; 8 – рама-платформа

Передача мощности на ходовую и технологическую части осуществляется от коленчатого вала двигателя соответственно со стороны муфты сцепления и вентилятора на соответствующие гидронасосы НП-90 посредством карданных валов.

Адаптер служит для навески и привода жатки и включает наклонную камеру серийного комбайна «Енисей-1200Р», шарнирно соединённую с рамой сварной конструкции, монтируемой на раме-платформе.

Крутящий момент от гидромотора НП-90 объёмного гидропривода на рабочие органы жатки передаётся посредством привода и штатной цепной передачи наклонной камеры. Привод, смонтированный на рамке, включает гидромотор, соединительную муфту, вал привода с подшипниками в корпусе опоры и шкив клиноременной передачи на шкив наклонной камеры с натяжным роликом.

Сравнительные испытания жатки ЖВС-6РГ проведены в ЗАО «Агрофирма АНК» и на Амурской зональной машиноиспытательной станции на скашивании гречихи и сеяных трав. Испытания проводились на типичных для южной зоны Амурской области тяжелосуглинистых почвах. Результаты и их анализ представлены в таблице 2.

В ходе хозяйственной проверки ЖВС-6РГ на скашивании гречихи в ОАО «Агрофирма АНК» выявлено повышение производительности в час основного времени на 23–57 %.

Таблица 2

Результаты испытаний ЖВС-6РГ

Показатель	Значение показателя		
	ЖВС-6РГ	Енисей-1200Р с жаткой ЖВН-6А	Улучшение показателя
Производительность в час основного времени, га	5,57 ± 0,4	4,0 ± 0,2	39,3 %
Рабочая скорость, км / ч	9,77 ± 0,70	7,02 ± 0,33	39,2 %
Максимальная рабочая скорость, км / ч	11,69	7,5	55,9 %
Транспортная скорость, км / ч	16,4	14,9	10,1 %
Эксплуатационная масса агрегата, кг	11740	11290	4,0 %
Глубина следа, см, при влажности W _{ср} = 30,8 ± 1,9 %	3,8 ± 0,2	4,1 ± 0,6	7,3 %
W _{ср} = 42,6 ± 5,2 %	5,5 ± 0,6	6,8 ± 1,1	19,1 %
W _{ср} = 63,7 ± 2,2 %	15,9 ± 2,0	21,8 ± 1,6	27,1 %
Плотность почвы, г/см, в слое 0–10 см, при влажности W _{ср} = 30,8 %			
исходная	0,836	0,836	
после прохода	0,871	0,923	
увеличение	0,035	0,87	2,49 раза
Твёрдость почвы, кПа, в слое 0–10 см, при влажности W _{ср} = 30,8 %:			
исходная	406	406	
после прохода	832	973	
увеличение	426	567	1,33 раза
Твёрдость почвы, кПа, в слое 0–20 см, при влажности W _{ср} = 30,8 %:			
исходная	554	554	
после прохода	961	1052	
увеличение	407	498	1,22 раза

В ходе агротехнической оценки работы ЖВС-6РГ подтверждено, что жатка качественно выполняет технологический процесс и снижает уровень техногенного воздействия на почву. На почве с абсолютной влажностью $W_{ср} = 28,9 \dots 32,7 \%$ техногенное воздействие на почву оценивалось изменением плотности, твёрдости почвы и глубиной следа после прохода сравниваемых агрегатов, а на почве с повышенной влажностью $W_{ср} = 37,4 \dots 47,8 \%$ и переувлажнённой $W_{ср} = 61,5 \dots 65,9 \%$ – только глубиной следа.

Анализ полученных результатов показывает, что использование РАГ позволяет снизить увеличение твёрдости почвы в среднем на 30 %, и особенно в поверхностном слое 0–10 см.

При движении по почве с влажностью $W_{ср} < 0,5 \text{ НВ}$ ($W_{ср} = 30,8 \%$), гусеничный движитель ЖВС-6РГ с РАГ оказывает меньшее в 2,5 раза уплотняющее воздействие на почву при примерно одинаковой эксплуатационной массе сравниваемых валковых агрегатов.

Эффективность РАГ в исследуемом диапазоне влажности почвы в плане снижения слеодообразования повышается по мере роста её величины. Так, снижение средней глубины следа после прохода ЖВС-6РГ по

сравнению с серийным агрегатом составляет от 7,3 % при $W_{\text{ср}} = 30,8$ % до 27,1 % при $W_{\text{ср}} = 63,7$ %.

Снижение твёрдости почвы и колееобразования способствует снижению энергозатрат и повышению качества последующих технологических операций по её обработке.

В ходе энергооценки ЖВС-6РГ отмечено снижение удельного расхода топлива и энергозатрат. Наиболее эффективна жатка на уборке трав при движении со скоростью 9,1 км/ч. При этом развиваемая мощность двигателя составляет 71,7 кВт, коэффициент загрузки двигателя $K = 0,97$. Затраты мощности на привод рабочих органов жатки невелики и по величине незначительно изменяются в рабочем диапазоне скоростей.

Годовая экономия труда составила 127,5 чел./ч. Отмечена высокая надёжность ЖВС-6РГ. За время испытаний при наработке 50 часов не было отказов конструктивного характера.

Таким образом, использование схемы УЭС-РГ при навеске различных сельскохозяйственных машин обеспечивает высокие технико-экономические показатели и может быть рекомендовано для выполнения уборочных работ в экстремальных условиях Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов А. М. Особенности взаимодействия гусеничного движителя уборочных машин с переувлажнёнными почвами Дальнего Востока. Благовещенск: ДальГАУ, 2000. 215 с.
2. Зональная система технологий и машин для растениеводства Дальнего Востока на 2001–2005 годы / под общ. ред. Ю. В. Терентьева, Б. И. Кашпуры. Благовещенск: ДальГАУ, 2002. 472 с.
3. Канделя М. В. Исследование и обоснование технического уровня различных типов гусеничных ходовых систем уборочно-транспортных машин: дисс. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 1997. 184 с.
4. Рябченко В. Н., Канделя М. В., Худолеев В. П. Обоснование и разработка универсального энергетического средства на гусеничном ходу // Наука производству: материалы научно-практической конференции УНПК. Вып. 5. Благовещенск: ДальГАУ, 1999. С. 17–22.

* * *

Kandelya Mikhail V., Kandelya Nikolay M. DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL POWER FACILITY ON CATERPILLAR TRACKS

(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The paper gives the concept of improving the design of harvesting and transport vehicles of high cross-country capacity based on the transition to rubber-reinforced caterpillars, the implementation of the principles of block-modular design and continuity, as a real basis for ensuring high functional and environmental efficiency of the use of new generation mobile zone power machines.

Keywords: universal energy means; metal-track running; harvester.

REFERENCES

1. Emel'yanov A. M. *Osobennosti vzaimodeystviya gusenichnogo dvizhitelya uborochnykh mashin s pereuvlazhnennymi pochvami Dal'nego Vostoka* (Features of the interaction of the caterpillar drive of harvesters with wetland soils of the Far East), Blagoveshchensk, Dal'GAU Publ., 2000. 215 p.
2. Terent'ev Yu. V. (ed.), Kashpur B. I. (ed.) *Zonal'naya sistema tekhnologiy i mashin dlya rastenievodstva Dal'nego Vostoka na 2001 – 2005 gody* (Zonal system of technologies and machines for plant growing in the Far East for 2001 – 2005), Blagoveshchensk, Dal'GAU Publ., 2002. 472 p.
3. Kandelya M. V. *Issledovanie i obosnovanie tekhnicheskogo urovnya razlichnykh tipov gusenichnykh khodovykh sistem uborочно-transportnykh mashin* (Research and substantiation of the technical level of various types of crawler running systems of harvesting vehicles), Blagoveshchensk, 1997. 184 p.
4. Ryabchenko V. N., Kandelya M. V., Khudoleev V. P. Justification and development of a universal power facility on caterpillar tracks [Obosnovanie i razrabotka universal'nogo energeticheskogo sredstva na gusenichnom khodu], *Nauka proizvodstvu: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii UNPK* (Science of production: materials of the scientific-practical conference) Issue 5, Blagoveshchensk, Dal'GAU Publ., 1999, pp. 17 – 22.

* * *

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 51-74

А. Ю. Резниченко, Н. В. Эйрих

ВЫЧИСЛЕНИЕ МОНТАЖНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ MAPLE

В работе описаны основные этапы метода конечных элементов на примере расчёта монтажных напряжений стержневых систем, работающих на растяжение-сжатие. Компьютерная реализация метода осуществлена в системе Maple. Представлен программный код, позволяющий подобрать требуемые параметры стержневой системы для обеспечения прочности после её сборки.

Ключевые слова: стержневая система, метод конечных элементов (МКЭ), конечный элемент, матрица жесткости, система Maple.

Метод конечных элементов (МКЭ) с успехом используется для решения двумерных и трёхмерных задач теории упругости (определение перемещений, внутренних усилий, напряжений, критических сил) при проектировании современных строительных конструкций [1 – 3; 5 – 6]. В литературе встречаются другие названия этого метода: проекционно-разностный или проекционно-сеточный метод. МКЭ — численный процесс получения каркаса приближённого решения на заданной сетке, этот метод является трансформацией известного метода Галёркина приближенного решения операторного уравнения при подходящем выборе системы базисных функций [4].

Основная идея МКЭ основана на представлении реальной конструкции её дискретной моделью и замене дифференциальных уравнений системой алгебраических уравнений. На первом шаге при решении задачи проводится разбиение рассчитываемой системы на конечные элементы (КЭ), при этом строго теоретического обоснования этот шаг не

Резниченко Алина Юрьевна — магистрант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, г. Биробиджан); e-mail: alinchik_anjaani@mail.ru.

Эйрих Надежда Владимировна — кандидат физико-математических наук, доцент (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, г. Биробиджан); e-mail: nadya_eyrikh@mail.ru.

© Резниченко А. Ю., Эйрих Н. В., 2017

имеет. Разбиение конструкции на КЭ целиком зависит от имеющихся инженерных навыков исследователя. Разрешающая система уравнений получается в результате объединения КЭ между собой в узлах. Наибольшее распространение получил вариант МКЭ, в котором за неизвестные принимаются перемещения узлов (общее название для линейных и угловых перемещений — степень свободы).

Опишем основные этапы МКЭ применительно к стержневым системам, работающим лишь на растяжение-сжатие, на конкретном примере.

Пусть требуется для системы проводников кругового поперечного сечения диаметром d , имеющей до сборки начальный зазор δ (рис. 1), определить продольные силы и напряжения в стержнях проводников от монтажных усилий после их сборки, сделать вывод о прочности системы [7].

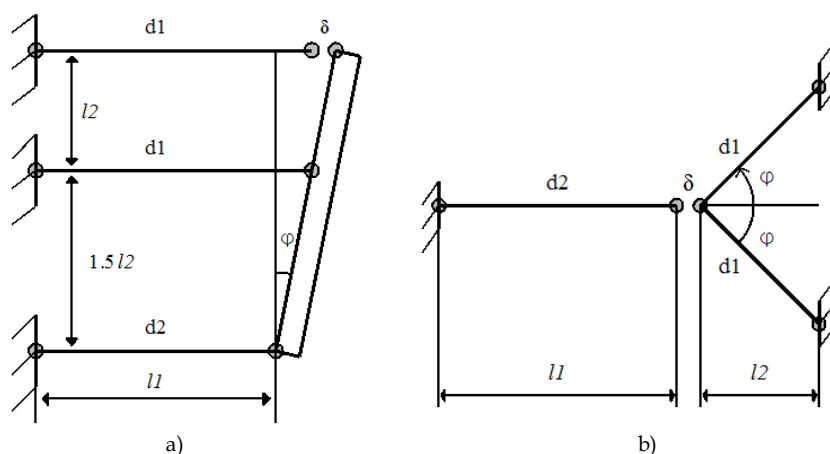


Рис. 1. Система проводников до сборки: а) схема № 1; б) схема № 2

Общий алгоритм решения поставленной задачи можно представить в следующем виде:

1. Разбиваем стержневую конструкцию на m конечных элементов;
2. Формируем матрицы жесткости K_m для каждого конечного элемента;
3. Задаем векторы узловых перемещений f_m для каждого конечного элемента;
4. Учитываем граничное закрепление некоторых узлов системы;
5. Записываем уравнение совместности для узлов, перемещения в которых не являются независимыми, так, чтобы перекрылся зазор δ ;

6. Вычисляем потенциальную энергию U упругой деформации;
 7. Находим экстремум квадратичного функционала U (согласно принципу возможных перемещений $\delta U = 0$);

8. Вычисляем продольные силы $N_z^{(m)}$ и напряжения $\sigma_z^{(m)}$ в каждом m – ом конечном элементе;

9. Сравниваем полученные значения напряжений с максимально допустимым напряжением для данного материала, делаем вывод о прочности системы.

Компьютерная реализация описанного алгоритма была осуществлена в системе компьютерной математики Maple.

Разбиение на конечные элементы заданных схем показано на рисунке 2: для системы № 1 – три конечных элемента и шесть узлов, для системы № 2 – три конечных элемента и пять узлов.

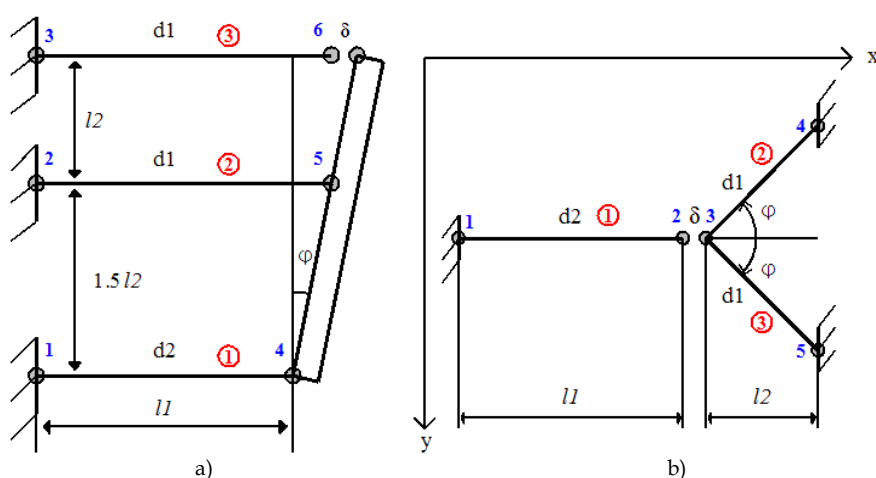


Рис. 2. Разбиение стержневых систем на конечные элементы:
 а) схема № 1; б) схема № 2

При вычислении матриц жёсткости K_m для каждого m -го конечного элемента использовалась формула:

$$K_m = \frac{(EF)^m}{a_m} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix},$$

где a_m – длина, $(EF)^m$ – постоянная жёсткость сечения типового стержневого КЭ.

Потенциальная энергия упругой деформации для заданных схем может быть получена по формуле:

$$U = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^3 f_m^T K_m f_m.$$

На рисунке 3 представлен программный код в Maple, позволяющий вычислять продольные перемещения в узлах 4, 5 и 6 системы № 1. Следует отметить, что для данной схемы перемещения в узлах 4, 5 и 6 не являются независимыми. Так как они присоединены к абсолютно жёсткому телу, то связаны соотношением:

$$-u_4 + 2,5u_5 - 1,5u_6 = \delta.$$

```
> restart :
l1 := 130 : l2 := 120 : d1 := 1.4 : d2 := 1.2 : delta := 0.15 :
phi := 3 : phi_r := (phi * pi) / 180 : E := 1.1 * 10^5 : sigma := 120 :
alpha := 1.56 * 10^-5 : F1 := (Pi * d1^2) / 4 : F2 := (Pi * d2^2) / 4 :

-
> K := <<(1, -1)>> <<(-1, 1)>> :
> K1 := evalf((E * F1) / l1 * K) : # Матрица жесткости 1-го КЭ
-
> K2 := evalf((E * F1) / (l1 + 1.5 * l2 * tan(phi_r)) * K) : # Матрица жесткости 2-го КЭ
-
> K3 := evalf((E * F1) / (l1 + 1.5 * l2 * tan(phi_r)) * K) : # Матрица жесткости 3-го КЭ
-
> f1 := <u1, u4> : # вектор узловых перемещений 1-го КЭ
> f2 := <u2, u5> : # вектор узловых перемещений 2-го КЭ
> f3 := <u3, u6> : # вектор узловых перемещений 3-го КЭ
> u1 := 0 : u2 := 0 : u3 := 0 : # Учет граничных условий (перемещения в узлах 1, 2 и 3 равны нулю,
# так как в этих узлах расположены шарнирно неподвижные заделки)
-
> US := -1.5 * u6 + 2.5 * u5 - u4 = delta : # Уравнение совместности (зависимые перемещения в узлах 4, 5 и 6)
> solve(US, u4) : u4 := % :
> with(linalg) : with(Student[LinearAlgebra]) :
> U
:= 1/2 * (multiply(Transpose(f1), K1, f1) + multiply(Transpose(f2), K2, f2)
+ multiply(Transpose(f3), K3, f3)) : # Потенциальная энергия упругой деформации
-
> sys := {diff(U, u5) = 0, diff(U, u6) = 0} :
# Условия экстремума квадратичного функционала (из принципа возможных перемещений delta U = 0)
-
> solve(sys, {u5, u6}) : u5 := rhs(%[1]) : u6 := rhs(%[2]) : u4 :
# Решение основного разрешающего уравнения
u5 := 0.03838663604
u6 := -0.02303198166
-0.01948543740
-
```

Рис. 3. Программный код в Maple вычисления продольных перемещений схемы № 1

На рисунке 4 представлены вычисления в Maple продольных сил $N_z^{(m)}$ и напряжений $\sigma_z^{(m)}$ в каждом из трёх конечных элементов схемы № 1. После чего выполняется проверка на прочность системы после сборки:

$$\sigma_{\max} = \max(\sigma_z^{(1)}, \sigma_z^{(2)}, \sigma_z^{(3)}) \leq [\sigma].$$

Программа выдает сообщение о результате проверки: пройден тест на прочность или нет.

```
[> R1 := multiply(K1, f1) : # Вектор узловых усилий 1-го КЭ
> N1 := R1[2] # Внутренний силовой фактор 1-го КЭ
N1 := -18.64712428 (2)
> σ1 := (N1 / F2) # Напряжение 1-го КЭ
σ1 := -51.79756744 / π (3)
> R2 := multiply(K2, f2) : # Вектор узловых усилий 2-го КЭ
> N2 := R2[2] # Внутренний силовой фактор 2-го КЭ
N2 := 46.61781074 (4)
> σ2 := (N2 / F1) # Напряжение 2-го КЭ
σ2 := 95.13838927 / π (5)
> R3 := multiply(K3, f3) : # Вектор узловых усилий 3-го КЭ
> N3 := R3[2] # Внутренний силовой фактор 3-го КЭ
N3 := -27.97068649 (6)
> σ3 := (N3 / F1) # Напряжение 3-го КЭ
σ3 := -57.08303365 / π (7)
> σmax := evalf(max(σ1, σ2, σ3)) :
if σmax ≥ σ then print("система не прошла тест на прочность")
else print("система выдержала тест на прочность") if
"система выдержала тест на прочность" (8)
```

Рис. 4. Проверка на прочность схемы № 1

На рисунках 5 и 6 приведены аналогичные вычисления в программе Maple для системы проводников № 2. В данной схеме перемещения в узлах 2 и 3 являются независимыми, поэтому здесь условие перекрытия начального зазора δ имеет вид:

$$u_2 - u_3 = \delta.$$

```

> restart :
l1 := 259 : l2 := 170 : d1 := 0.9 : d2 := 0.8 : delta := 0.15 : phi := 35 : phi_r :=  $\frac{\phi \cdot \pi}{180}$  :
E :=  $0.71 \cdot 10^5$  : sigma := 100 : alpha :=  $2.2 \cdot 10^{-5}$  : F1 :=  $\frac{\pi \cdot d1^2}{4}$  : F2 :=  $\frac{\pi \cdot d2^2}{4}$  :
> K :=  $\langle (1, -1) | (-1, 1) \rangle$  :
> K1 := evalf $\left( \frac{(E \cdot F2)}{l1} \cdot K \right)$  : # Матрица жесткости 1-го КЭ
> K2 := evalf $\left( (E \cdot F1) \cdot \frac{\cos(\phi_r)}{l2} \cdot K \right)$  : # Матрица жесткости 2-го КЭ
> K3 := evalf $\left( (E \cdot F1) \cdot \frac{\cos(\phi_r)}{l2} \cdot K \right)$  : # Матрица жесткости 3-го КЭ
> f1 :=  $\langle u1, u2 \rangle$  : f2 :=  $\langle u3, u4 \rangle$  : f3 :=  $\langle u3, u5 \rangle$  : # векторы узловых перемещений КЭ
> u1 := 0 : u4 := 0 : u5 := 0 :
# Учет граничных условий (перемещения в узлах 1, 4 и 5 равны нулю так как в этих узлах
# расположены шарнирно неподвижные заделка)
> US := u2 - u3 = delta : # Условие перекрытия зазора
> solve(US, u2) : u2 := % :
> with(linalg) : with(Student[LinearAlgebra]) :
U
:=  $\frac{1}{2} (\text{multiply}(\text{Transpose}(f1), K1, f1) + \text{multiply}(\text{Transpose}(f2), K2, f2) + \text{multiply}(\text{Transpose}(f3), K3, f3))$  : # Потенциальная энергия упругой деформации
> sys := {diff(U, u3) = 0} :
# Условия экстремума квадратичного потенциала (из принципа возможных перемещений  $\delta U = 0$ )
> solve(sys, {u3}) : u3 := rhs(%[1]) : u2 := %
u3 := -0.03606631310
0.1139336869

```

Рис. 5. Программный код в Maple вычисления продольных перемещений схемы № 2

```

> R1 := multiply(K1, f1) : # Вектор узловых усилий 1-го КЭ
> N1 := R1[2] : # Внутренний силовой фактор 1-го КЭ
N1 := 15.69931095 (2)
> sigma1 := evalf $\left( \frac{N1}{F2} \right)$  : # Напряжение 1-го КЭ
sigma1 := 31.23278675 (3)
> R2 := multiply(K2, f2) : # Вектор узловых усилий 2-го КЭ
> N2 := R2[2] : # Внутренний силовой фактор 2-го КЭ
N2 := 7.849655474 (4)
> sigma2 := evalf $\left( \frac{N2}{F1} \right)$  : # Напряжение 2-го КЭ
sigma2 := 12.33887872 (5)
> R3 := multiply(K3, f3) : # Вектор узловых усилий 3-го КЭ
> N3 := R3[2] : # Внутренний силовой фактор 3-го КЭ
N3 := 7.849655474 (6)
> sigma3 := evalf $\left( \frac{N3}{F1} \right)$  : # Напряжение 3-го КЭ
sigma3 := 12.33887872 (7)
> sigma_max := max(sigma1, sigma2, sigma3) :
if sigma_max >= sigma then print("система не прошла тест на прочность")
else print("система выдержала тест на прочность") if
"система выдержала тест на прочность" (8)

```

Рис. 6. Проверка на прочность схемы № 2

Графические возможности системы Maple позволяют также изобразить эпюры продольных сил для каждой из рассчитанных стержневых систем (рис. 7).

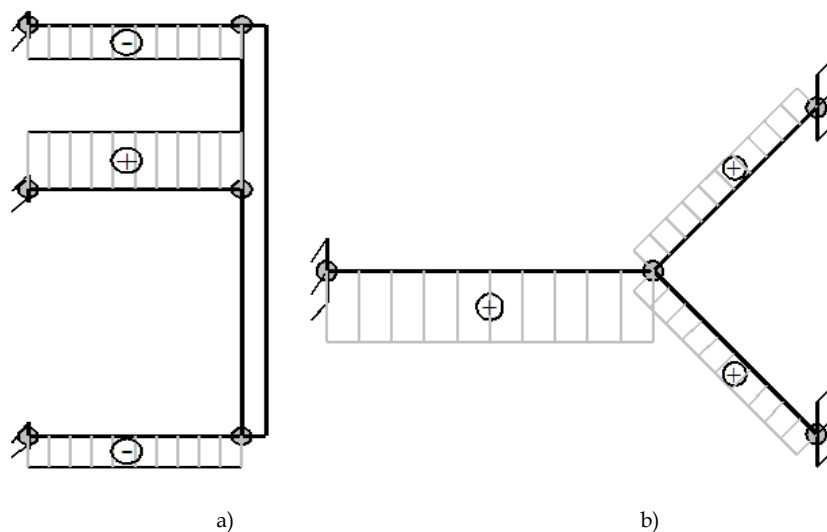


Рис. 7. Эпюры продольной силы для стержневых систем:
а) схема № 1; б) схема № 2

Использование подобных программ позволяет на этапе проектирования схемы подбирать параметры стержневых систем (длину и площадь поперечного сечения стержней, материал, из которого изготовлены эти стержни) для обеспечения прочности готовой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапов В. П., Васильев А. В. Учёт геометрической нелинейности при расчёте железобетонных колонн прямоугольного сечения методом конечных элементов // Вестник МГСУ. 2014. № 4. С. 37–43.
2. Агапов В. П. Моделирование стержней таврового сечения в расчётах строительных конструкций методом конечных элементов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 2. С. 55–59.
3. Маринченко Е. В. Об одном алгоритме МКЭ расчёта элементов строительных конструкций и механизмов при наличии дефектов // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2015. № 5–6. С. 105–108.
4. Марчук Г. И., Агошков В. И. Введение в проекционно-сеточные методы. М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. литературы, 1981. 416 с.
5. Мальгин М. Г., Медведев К. В. Модель расчёта мостовых конструкций на усталость по локальным напряжениям // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика. 2014. № 6. С. 89–102.

6. Нгуен В. Т., Кажарский В. В. Расчёт стержневых железобетонных конструкций с учётом неупругой работы методом конечных элементов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 5 (88). С. 107 – 114.
7. Самогин Ю. Н., Хроматов В. Е., Чирков В. П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 200 с.

* * *

Reznichenko Alina Yu., Eyrikh Nadezhda V.
CALCULATION OF MOUNTING STRESSES IN ROD SYSTEMS
BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS IN THE MAPLE SYSTEM
 (Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The basic stages of the finite element method are described in the paper by the example of calculating the mounting voltages of rod systems operating on tension-compression. The computer implementation of the method is implemented in the Maple system. The program code is presented, which allows to select the required parameters of the core system to ensure the strength after its assembly.

Keywords: rod system, finite element method (FEM), finite element, stiffness matrix, Maple system.

REFERENCES

1. Agapov V. P., Vasil'ev A. V. Account for geometrical nonlinearity in the analysis of reinforced concrete columns of rectangular section by finite element method [Uchjot geometricheskoj nelinejnosti pri raschjote zhelezobetonnyh kolonn prjamougol'nogo sechenija metodom konechnyh jelementov], *Vestnik MGSU*, 2014, no. 4, pp. 37 – 43.
2. Agapov V. P. Modelling of the t-section rods in the analysis of building structures by finite element method [Modelirovanie sterzhnej t-vorovogo sechenija v raschjotah stroitel'nyh konstrukcij metodom konechnyh jelementov], *Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, 2016, no. 2, pp. 55 – 59.
3. Marinchenko E. V. About one algorithm FEM calculation of construction elements and mechanisms of the presence of defects [Ob odnom algoritme MKE rascheta elementov stroitel'nykh konstruktsiy i mekhanizmov pri nalichii defektov], *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, 2015, no. 5 – 6, pp. 105 – 108.
4. Marchuk G. I., Agoshkov V. I. *Vvedenie v proekcionno-setochnye metody* (Introduction to projection-grid methods), Moscow, Nauka Publ., 1981. 416 p.
5. Mal'gin M. G., Medvedev K. V. Model of calculation of bridge structures for fatigue by local stresses [Model' raschjota mostovyh konstrukcij na ustalost' po lokal'nym naprjazhenijam], *Mosty i tonneli: teorija, issledovanie, praktika* (Bridges and tunnels: theory, research, practice), 2014, no. 6, pp. 89 – 102.
6. Nguen V. T., Kazharskij V. V. Calculation of core reinforced concrete structures subject to inelastic behavior by finite element method [Raschjot sterzhnevyyh zhelezobetonnyh konstrukcij s uchjotom neuprugoj raboty metodom konechnyh jelementov], *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 5 (88), pp. 107 – 114.
7. Samogin Ju. N., Hromatov V. E., Chirkov V. P. *Metod konechnyh jelementov v zadachah soprotivlenija materialov* (The finite element method in problems of materials resistance), Moscow, FIZMATLIT Publ., 2012. 200 p.

* * *

УДК 51-73:004.942

П. А. Ковалев, Е. М. Веселова**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КЕРАМИКИ Al_2O_3 -TiC
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

В работе проведено исследование температурных изменений внутри и на поверхности образца оксикарбидной керамики на основе композиции Al_2O_3 -TiC под воздействием лазерного излучения. Визуализация результатов моделирования изменения температурного поля выполнена в среде COMSOL Multiphysics.

Широкое изучение керамических материалов в экстремальных условиях эксплуатации, к которым можно отнести воздействие лазерного излучения на материал, объясняется их способностью сохранять физические свойства в области высоких температур. При воздействии лазерного излучения на композиционный материал происходит его нагрев. С применением инструментальных возможностей пакета COMSOL Multiphysics проведено компьютерное моделирование изменения температурного поля вращающегося цилиндрического образца керамики Al_2O_3 -TiC вследствие воздействия движущегося лазерного пучка. В работе подробно описаны этапы компьютерного моделирования в «Построителе моделей» среды COMSOL Multiphysics: определение размерности модели; выбор типа исследования; создание геометрии; выбор материалов и задание их свойств; задание глобальных и локальных переменных; генерация сетки; проведение исследования; отображение и анализ результатов.

Ключевые слова: моделирование, лазерное излучение, керамика, температурное поле.

Введение

В настоящее время все чаще в качестве конструкционных используются керамические материалы. Это связано со способностью керамики сохранять свои физические свойства в экстремальных условиях эксплуатации, к таковым можно отнести и лазерное облучение. При воздействии лазерного излучения на композиционный материал происходит его нагрев. В работе исследовано изменение температуры керамики Al_2O_3 -TiC вследствие лазерного облучения.

Постановка задачи: рассматривается воздействие движущегося источника лазерного излучения на вращающийся образец оксикарбидной керамики на основе композиции Al_2O_3 -TiC.

В работе проведено компьютерное моделирование изменения тем-

Ковалев Павел Александрович — магистрант (Амурский государственный университет, Благовещенск); e-mail: pavelkov007@gmail.com.

Веселова Елена Михайловна — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математического анализа и моделирования (Амурский государственный университет, Благовещенск); e-mail: veselovablg@gmail.com.

© Ковалев П. А., Веселова Е. М., 2017

пературного поля образца с применением инструментальных возможностей пакета COMSOL Multiphysics [1, 2].

COMSOL Multiphysics — это основанная на передовых численных методах универсальная программная платформа для моделирования и компьютерного моделирования физических задач.

Описание этапов компьютерного моделирования

Компьютерное моделирование в среде COMSOL Multiphysics выполнялось по нижеприведенной схеме.

1. Выбор размерности модели.

В работе была построена трёхмерная модель исследуемого процесса.

2. Выбор физики и типа исследования.

Рассматривался процесс, зависящий от времени — Time Dependent. Для исследования изменения температуры использовался модуль теплопроводности в твёрдых телах — Heat Transfer in Solids (ht).

3. Создание геометрии.

Исследуемый образец геометрически представляет собой цилиндрическую пластину заданного радиуса и толщины.

4. Добавление материалов.

Исследовался образец из оксикарбидной керамики на основе композиции Al_2O_3 -TiC (рис. 1).

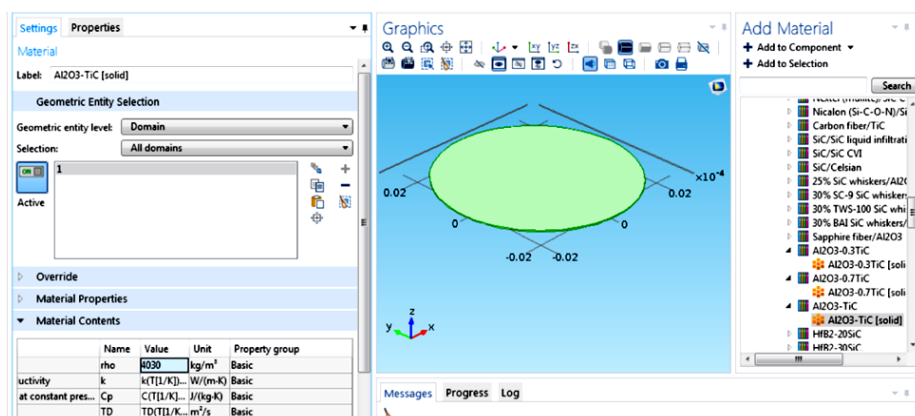


Рис. 1. Геометрия исследуемого образца оксикарбидной керамики на основе композиции Al_2O_3 -TiC

5. Задание глобальных переменных.

Глобальные параметры условно можно разделить на две группы: одни описывают исследуемый образец Al_2O_3 -TiC, другие — воздействующий лазерный пучок.

Параметры радиус и толщина пластины описывают геометрию исследуемого керамического образца. Пластина, облучаемая лазерным пучком,

вращается, что задаётся параметрами скорость вращения и угловая скорость. Также задана излучательная способность поверхности пластины.

Остальные параметры описывают воздействующий на образец лазерный пучок, а именно заданы мощность лазера, радиус пучка лазера, время для перемещения лазера вперёд и обратно (рис. 2).

Settings

Properties

Parameters

Parameters

Name	Expression	Value	Description
r_wafer	1[in]	0.0254 m	Радиус пластины
thick	275[um]	2.7500E-4 m	Толщина пластины
rot_speed	60[rpm]	1 Hz	Скорость вращения
ang_vel	2 * pi * rot_speed	6.2832 Hz	Угловая скорость
period	10[s]	10 s	Время для перемещения лазера вперед и обратно
r_spot	2.5[mm]	0.0025 m	Радиус пучка лазера
emissivity	0.8	0.8	Излучательная способность поверхности пластины
laser_pow	10[W]	10 W	Мощность лазера

Рис. 2. Глобальные параметры модели

6. Задание локальных функций.

Для моделирования лазерного пучка задаём локальные функции.

1). Функция гауссова импульса, которая позволит описать профиль нагрева лазера.

Встроенная функция гауссова импульса Comsol Multiphysics, предполагает наличие двух параметров location (начальное положение по оси x) и standard deviation (стандартное отклонение).

Параметр location задаём равным нулю, а параметр standard deviation равным трети радиуса пучка лазера, т.е. $r_spot / 3$.

Таким образом, радиус пучка лазера будет равен трём стандартным отклонениям построенного нами гауссова импульса (рис. 3).

2). Далее задаём функцию Waveform (осциллограмма) треугольной формы.

Координационный центр пучка лазера будет перемещаться по траектории, заданной данной функцией, что позволит нам отслеживать его положение вдоль оси x во времени.

Задаём следующие параметры функции, показанные на рисунке 4: угловая частота, фаза, амплитуда.

3). Задаём функцию, определяющую тепловую нагрузку лазера на каждую точку поверхности пластины.

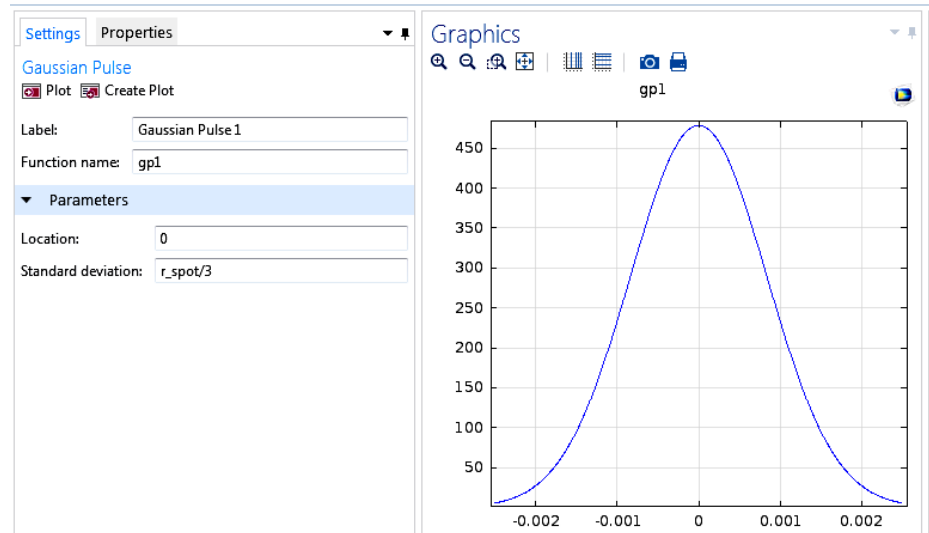


Рис. 3. Функция гауссова импульса

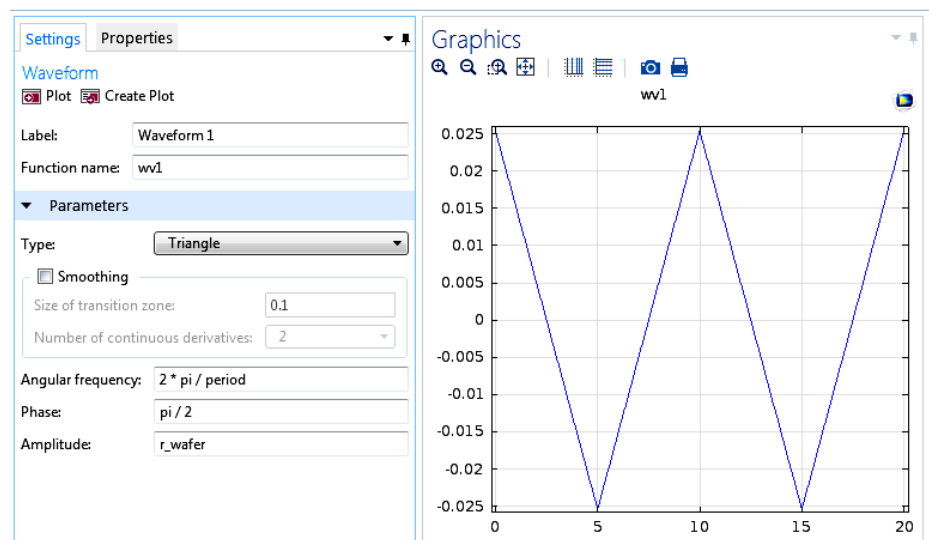


Рис. 4. Функция Waveform

Функция определяется как количество мощности лазера, приходящаяся на квадратный метр поверхности (рис. 5).

7. Задание физики областей и граничных условий.

В разделе Translational Motion модуля Heat Transfer in Solids, укажем вектор скорости поступательного движения пластины в области уравнения теплопереноса (рис. 6).

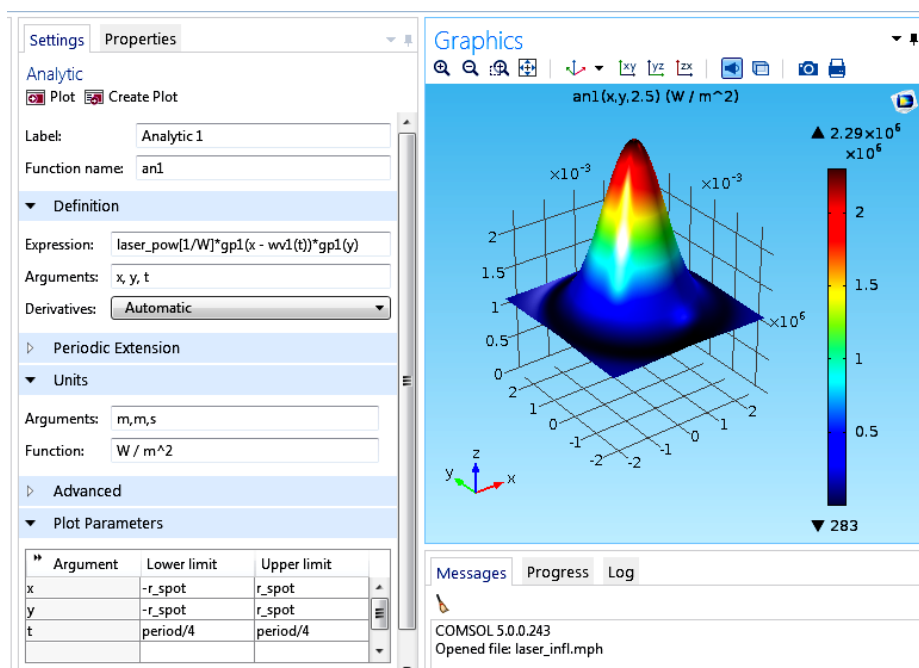


Рис. 5. Аналитическая функция тепловой нагрузки лазера

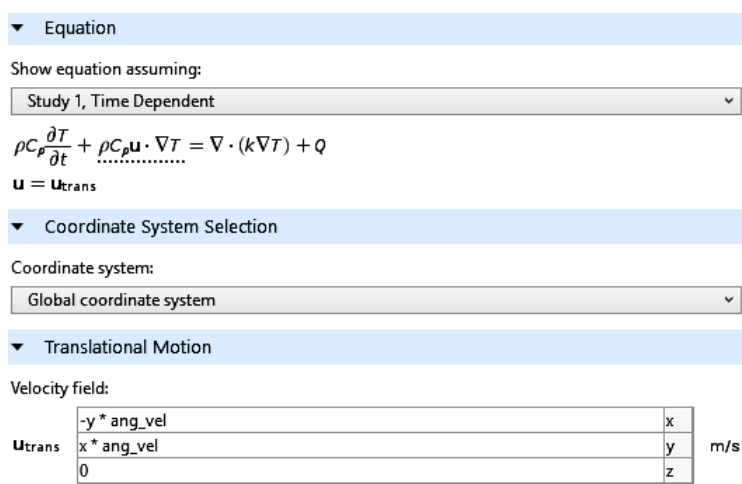


Рис. 6. Задание параметров поступательного движения пластины

Как видно из рисунка 7 тепловой поток задаётся как произведение функции тепловой нагрузки лазера на излучательную способность пластины, в данном случае предполагается, что излучательная способность пластины равна поглощающей.

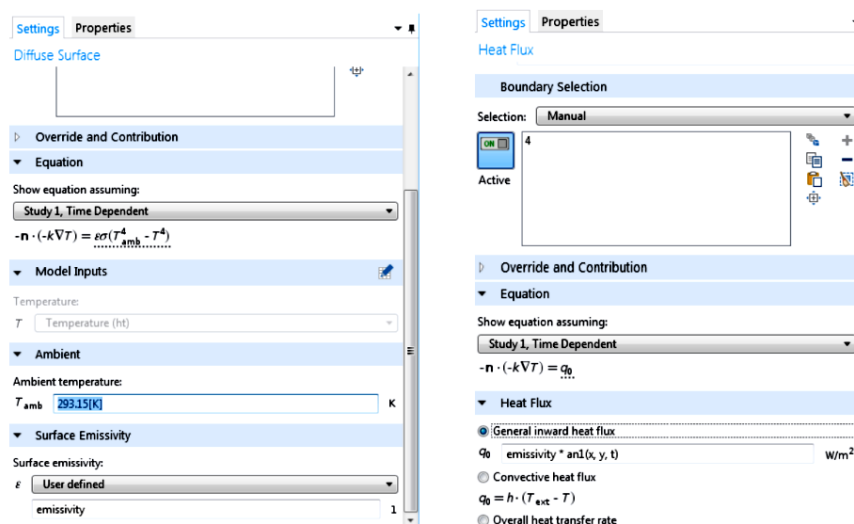


Рис. 7. Задание излучательной способности пластины (слева)
и задание теплового потока q_0 (справа)

8. Генерация сетки.

В среде COMSOL Multiphysics вычисление выполняется методом конечных элементов. Для начала исследования необходимо задать сетку разбиения образца. В модели была выбрана сетка triangular — трехгранная, размер сетки — fine (рис. 8).

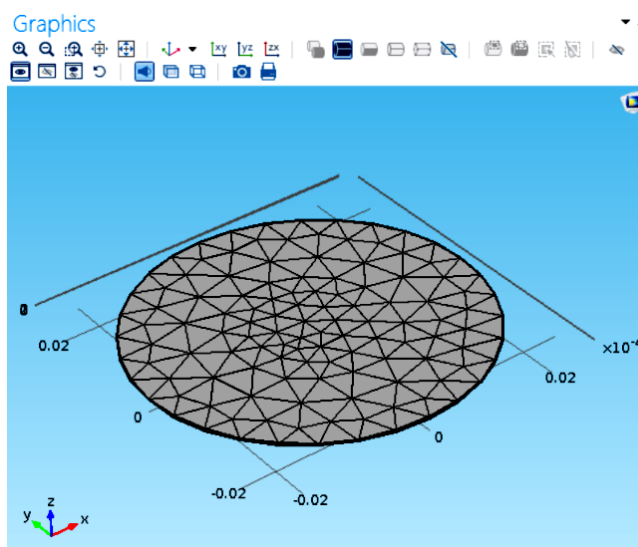


Рис. 8. Генерация сетки

9. Исследование. Отображение и анализ результатов.

Далее представлены результаты исследования, которое проводилось во временном интервале от 0 до 60 секунд с шагом 0,1 (рис. 9).

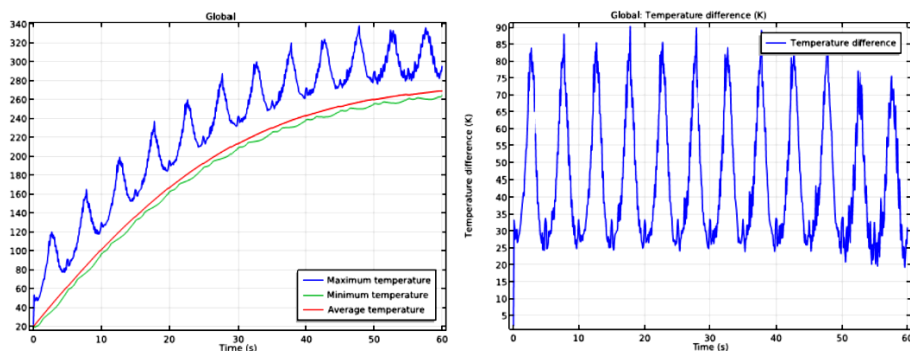


Рис. 9. График пиковых и средней температур (слева), график разности пиковых температур пластины (справа)

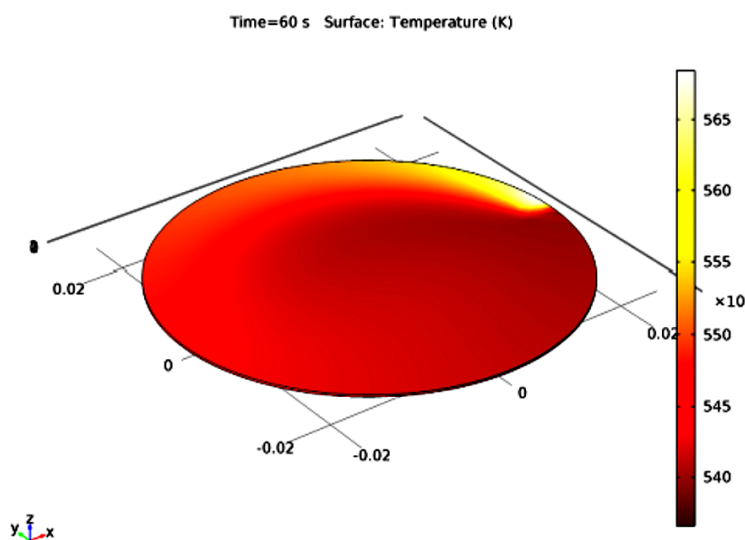


Рис. 10. График изменения температуры во всей пластине

Заключение

В результате компьютерного моделирования в среде COMSOL Multiphysics была построена трёхмерная модель изменения температуры вращающегося образца оксикарбидной керамики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, вследствие воздействия на него движущегося источника лазерного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в COMSOL Multiphysics. URL: https://www.comsol.ru/shared/downloads/IntroductionToCOMSOLMultiphysics_5.2_ru.pdf (дата обращения 15.03.2017)
2. Красников Г.Е., Нагорнов О.В., Старостин Н.В. Моделирование физических процессов с использованием пакета COMSOL Multiphysics: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.

* * *

Kovalev Pavel A., Veselova Elena M.
COMPUTER SIMULATION OF CHANGES IN TEMPERATURE CERAMIC Al_2O_3 -TiC
UNDER THE INFLUENCE OF LASER RADIATION
(Amur State University, Blagoveshchensk)

In this paper, we study temperature changes inside and on the surface of the sample oxycarbide ceramics based on the composition of Al_2O_3 -TiC under the influence of laser radiation. Visualization of the simulation results of temperature field changes implemented in Comsol Multiphysics.

Extensive study of ceramic materials in extreme conditions, which include the effects of laser radiation on the material, due to their ability to maintain physical properties at high temperatures. Under the action of laser radiation on the composite material it is heated. With the use of the instrumental possibilities of the package COMSOL Multiphysics was conducted a computer simulation of the temperature field changes of a rotating cylindrical sample of ceramic Al_2O_3 -TiC due to the impact of a moving laser beam. The article describes in detail the stages of computer simulation in the "Modeler" environment COMSOL Multiphysics: determination of the dimensions of the model; choice of studies; geometry creation; the choice of materials and setting their properties; setting global and local variables; the generation of a grid; conducting research; mapping and analysis of the results.

Keywords: modeling, laser radiation, ceramic, temperature field

REFERENCES

1. *Vvedenie v COMSOL Multiphysics* (Introduction to COMSOL Multiphysics), Available at: https://www.comsol.ru/shared/downloads/IntroductionToCOMSOLMultiphysics_5.2_ru.pdf
2. Krasnikov G.E., Nagornov O.V., Starostin N.V. *Modelirovanie fizicheskikh protsessov s ispolzovaniem paketa COMSOL Multiphysics* (Modelling of physical processes using COMSOL Multiphysics package): Textbook, M., MEPhI, 2012. 184 p.

* * *

УДК 001.891.573; 519.6; 539.3

А. С. Васильев, Р. Е. Бойчин, В. Л. Земляк**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И РАСЧЁТ ВЫСТУПА КОЛОННЫ
В СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

В данной работе решается проблема, возникшая при проектировании здания и расчёте строительных элементов его каркаса. Здание спроектировано в САПР-системе Revit Structure. Затем проводился экспорт в программный комплекс ЛИРА САПР 2013 для дальнейшего расчёта. Данная программа выполняет численные расчёты конструкций на основе метода конечных элементов (МКЭ). Отметим, что выступ принимает на себя нагрузку от фермы и плит перекрытия. Однако возникла проблема при моделировании выступа колонны, который программа ЛИРА не учитывала в расчёте, а вся нагрузка передаётся только на верхнюю часть колонны. В результате возникла необходимость поиска новых путей решения данной проблемы, в результате чего выступ был спроектирован и рассчитан отдельно в программном комплексе ANSYS Workbench 15.

Ключевые слова: проектирование, численное моделирование, выступ.

Введение

Как известно, расчёты конструкций и связанные с ними задачи проектирования и моделирования, одна из важнейших сфер применения ЭВМ. Математические модели конструкций, в частности, строительных (статика, устойчивость, пластичность и ползучесть) относятся к наиболее сложным и трудоёмким в реализации. Такие расчёты зачастую выполняются на основе метода конечных элементов (МКЭ) с использованием современных программных комплексов на базе математических моделей и общих принципов механики деформируемого твёрдого тела. При этом напряжённо-деформированное состояние тела в каждой точке характеризуется тремя компонентами вектора перемещений, а также тензорами деформаций и напряжений (по шесть и девять компонентов в каждой точке соответственно).

В программах для расчёта конструкций входными данными является набор элементов расчётных схем и команд для их формирования, со-

Васильев Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, старший преподаватель (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vasil-grunt@mail.ru.

Бойчин Роман Евгеньевич — магистрант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

Земляк Виталий Леонидович — кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

© Васильев А. С., Бойчин Р. Е., Земляк В. Л., 2017

ставляющих файл исходных данных. Наиболее распространёнными программами для расчёта строительных конструкций в России являются ЛИРА, SCAD, МИРАЖ. Из зарубежных программ это, как правило, ANSYS, NASTRAN, COMSOL и др. При этом программы ЛИРА и SCAD позволяют осуществлять быстрое и качественное проектирование и расчёт строительных конструкций с учётом использования современных отечественных правил и строительных норм. Они сравнительно просты в освоении и дают качественные результаты при правильном применении. Однако данные программные комплексы имеют ряд недостатков при конечно-элементном моделировании и распознавании сложных форм и объектов.

В данной работе решается проблема, возникшая при проектировании корпуса университета ПГУ имени Шолом-Алейхема и расчёте строительных элементов каркаса здания. Корпус университета спроектирован в САПР-системе Revit Structure. Затем спроектированное здание корпуса университета экспортировалось в программный комплекс ЛИРА САПР 2013 для дальнейшего расчёта. Данная программа выполняет численные расчёты конструкций на основе метода конечных элементов (МКЭ) — одного из вариационных методов решения математических задач.

При проектировании колонны с выступом, принимающим на себя нагрузку от фермы и плит перекрытия возникла сложность при численном моделировании выступа колонны, который программа ЛИРА отказалась учесть в расчёте, передавая всю нагрузку не на выступ, а непосредственно на верхнюю часть колонны. Отказ программного комплекса ЛИРА строить конечно-элементную сетку для выступа колонны вызвал необходимость поиска новых путей решения данной проблемы, в результате чего выступ был спроектирован и рассчитан отдельно в программном комплексе ANSYS Workbench 15.

Постановка задачи

Как можно заметить на рисунке 1, выступ отсутствует, а нагрузка от фермы и плит перекрытия приходится на верхнюю часть колонны. В конечно-элементной расчётной схеме ПК ЛИРА данная колонна представлена в виде стержня, в верхней части которого расположены плиты перекрытия и ферма, однако выступ в расчётной схеме отсутствует. Это вызвало необходимость в проектировании данного выступа отдельно в программном комплексе ANSYS. Расчёт производился по прочности выступа, его максимальным перемещениям (в пределах допустимых значений) и допустимой ширине раскрытия трещин. Прочность выступа будет обеспечена, если напряжения, возникающие в конструкции, не превысят максимально возможных напряжений. Исследование прочности железобетонных конструкций и прочностные расчёты выполнялись в работах [1, 2, 3, 4, 5]. Жёсткость выступа в пределах его допустимых зна-

чений будет считаться обеспеченной, если максимальное перемещение выступа будет меньше, чем $2L / 200 = 4,5$ мм, где L — длина выступа (450 мм). Максимально допустимая ширина раскрытия трещин составляет 0,4–0,6 мм.

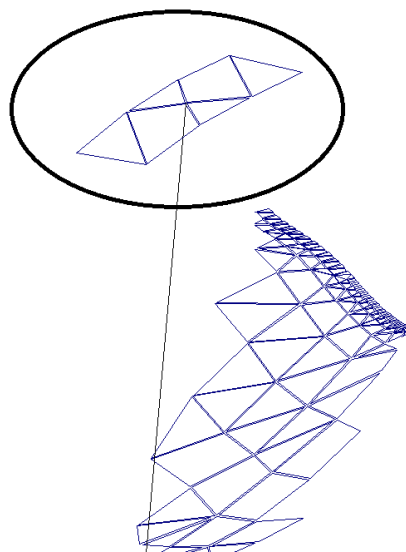


Рис. 1. Дискретная модель колонны корпуса ПГУ им. Шолом-Алейхема в ПК ЛИРА

Расчётная схема выступа колонны (с частью самой колонны) изображена на рисунке 2.

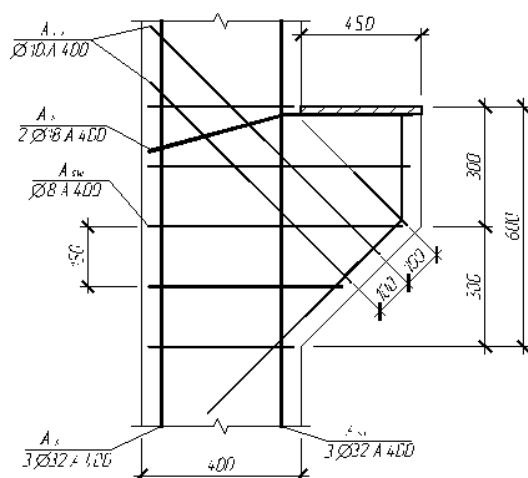


Рис. 2. Расчётная схема части колонны с выступом

На рисунке 3 показана схема опирания элементов здания (плит перекрытия и фермы) на выступ колонны.

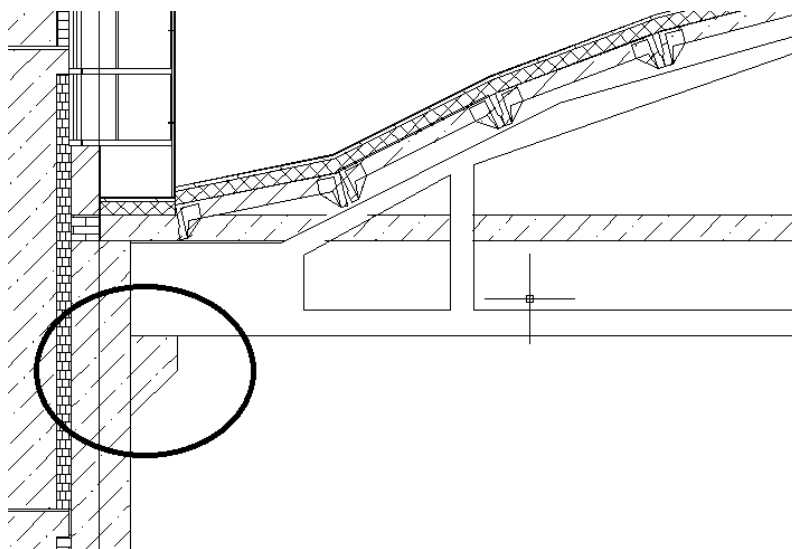


Рис. 3. Схема опирания элементов здания на выступ колонны

Геометрические характеристики выступа и части колонны со схемой армирования приведены на рисунке 2. Материалы: бетон В 25 с механическими характеристиками: расчётное сопротивление сжатию $R_b = 14,5$ МПа, расчётное сопротивление растяжению $R_{bt} = 1,05$ МПа, модуль упругости $E_b = 30\,000$ МПа, плотность бетона 2500 кг/м³. Арматура А400: расчётное сопротивление растяжению и сжатию: $R_s = 350$ МПа, модуль упругости $E_s = 200\,000$ МПа.

Математическая модель критерия прочности материала

Критерий, используемый для учёта трещинообразования бетонной колонны при расчёте в программе ANSYS – двухинвариантный деформационный критерий 3. П. Базанта [7], разработанный для учёта разрушения и трещинообразования материалов. Применяется в основном для хрупких материалов и представляет собой предельную поверхность прочности в форме параболы в осях первого и второго инварианта тензора деформаций. При этом в осях главных деформаций предельной поверхностью является поверхность вращения второго порядка. Условие прочности для модели Базанта описывается следующим выражением [7]:

$$F(T_\varepsilon) = AL_1 + \sqrt{B^2 L_1^2 + C J_2} - d > 0, \quad (1)$$

где L_1 – первый инвариант тензора деформаций, J_2 – второй инвариант девиаторной части тензора деформаций, A, B, C, d – коэффициенты, которые вычисляются исходя из результатов лабораторных испытаний материала. Для построения параболы достаточно трёх испытаний: на прочность при одноосном сжатии с R_c , на прочность при одноосном растяжении R_t , на прочность при трёхосном сжатии H . При этом используются известные выражения:

$$L_1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z, \quad (2)$$

$$J_2 = \frac{1}{6} \left((\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2} \left(\frac{1}{4} \gamma_{xy}^2 + \frac{1}{4} \gamma_{yz}^2 + \frac{1}{4} \gamma_{xz}^2 \right) \right), \quad (3)$$

где $F(T_\varepsilon)$ – функция деформированного состояния, $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – деформации материала в направлении осей x, y и z соответственно; $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$ – соответственно деформации сдвига в трёх плоскостях.

Численное исследование выступа колонны в программе ANSYS

Выступ колонны был спроектирован средствами модуля ANSYS Design Modeler [8]. Выступ был зафиксирован командой Fixed Support, предполагая, что он является частью неподвижной колонны. Для бетона используется нелинейный конечный элемент SOLID 65, основанный на критерии прочности Willam-Warnke [9].

Сбор нагрузок на выступ колонны представлен в таблице.

Таблица

Сбор нагрузок на выступ колонны

№	Название нагрузки	Значение, т
1	Ферма	3,85
2	Плиты перекрытия	6,2 x 5
3	Нагрузка различных слоев изоляции и гидроизоляции	1,18 + 0,26 + 5,94
4	Снеговая нагрузка	13,2
5	Итого	55,4
6	Итого с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,2	66,5

Нагрузка прикладывалась вертикально, равномерно распределялась по площади выступа и показана на рисунке 4.

Далее будут представлены результаты расчётов. Отклонение перемещений выступа колонны от первоначального состояния модели изображено на рисунке 5. Красным цветом изображены наибольшие значения перемещений.

Как видно из рисунков 5 и 6, максимальные перемещения составили 0,67 мм. На рисунке 6 показаны изо-поля перемещений выступа и конечноэлементная сетка.

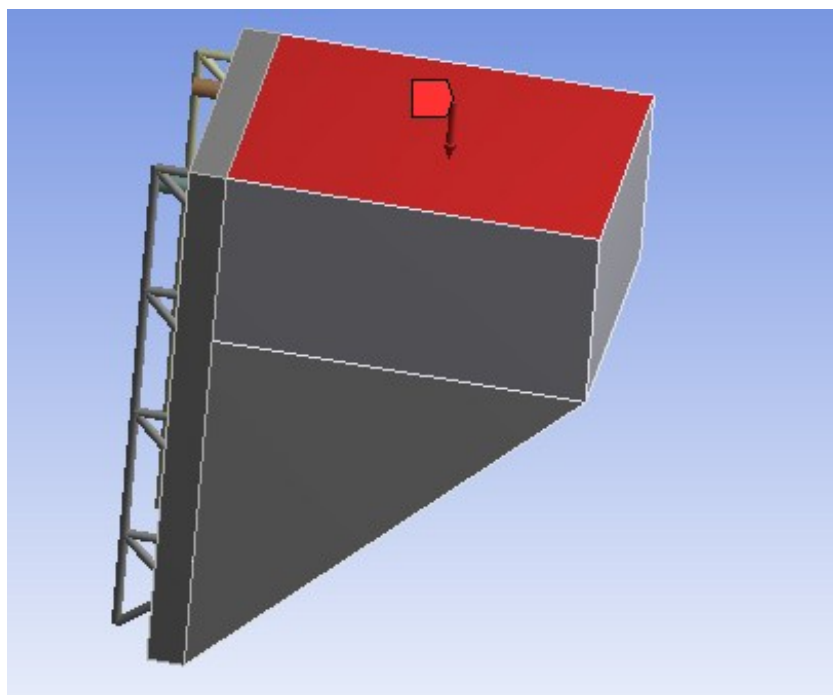


Рис. 4. Нагрузка на выступ колонны

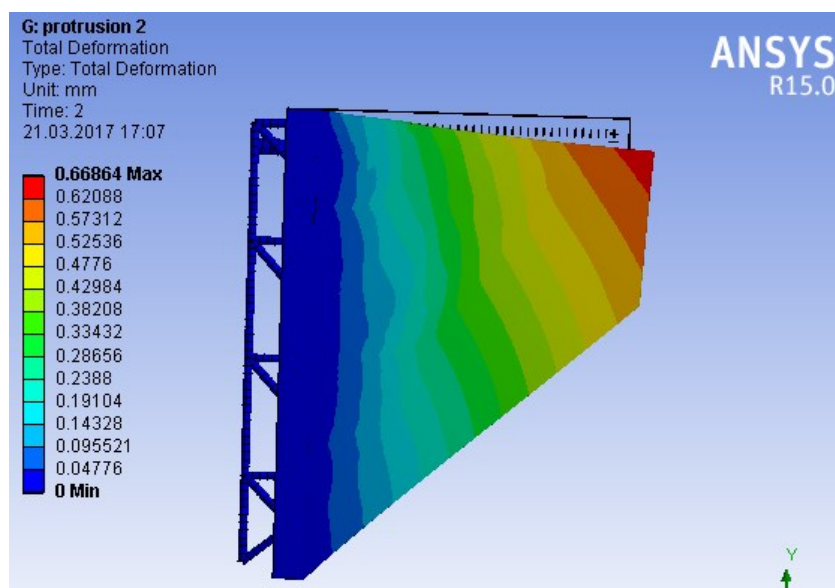


Рис. 5. Перемещения выступа и его первоначальное состояние

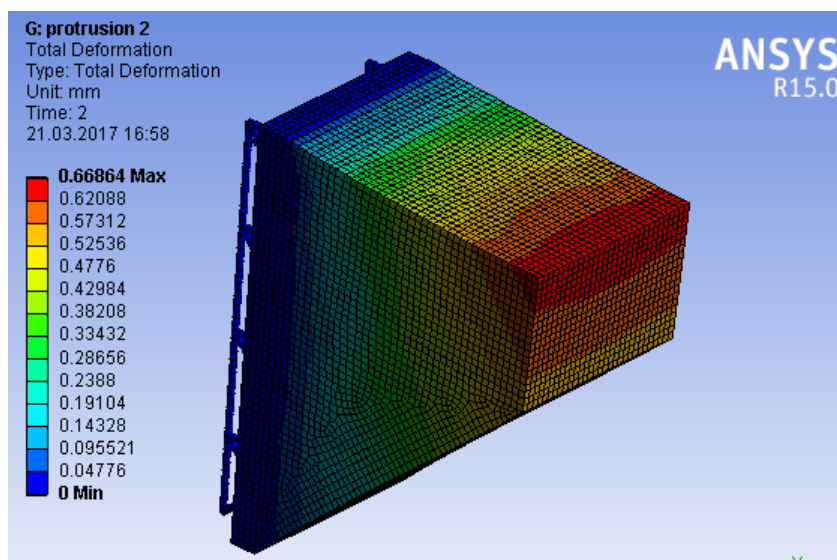


Рис. 6. Перемещения выступа колонны и дискретная модель

Максимальные растягивающие напряжения наблюдаются в верхних стержнях арматуры и составили около 250 МПа, что меньше допустимых напряжений арматуры класса А 400 (рис. 7). Максимальные напряжения сжатия — около 60 МПа.

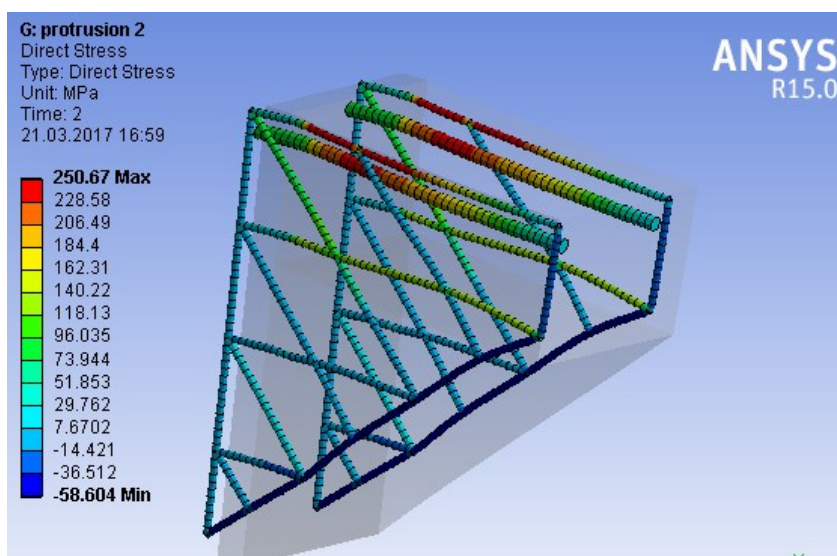


Рис. 7. Напряжения в арматуре

Как можно заметить на рисунке 8, нормальные напряжения в разрезе выступа также не превышали допустимых значений. Синие цвета на рисунке показывают локальные сжимающие напряжения в бетоне от деформации стержней арматуры.

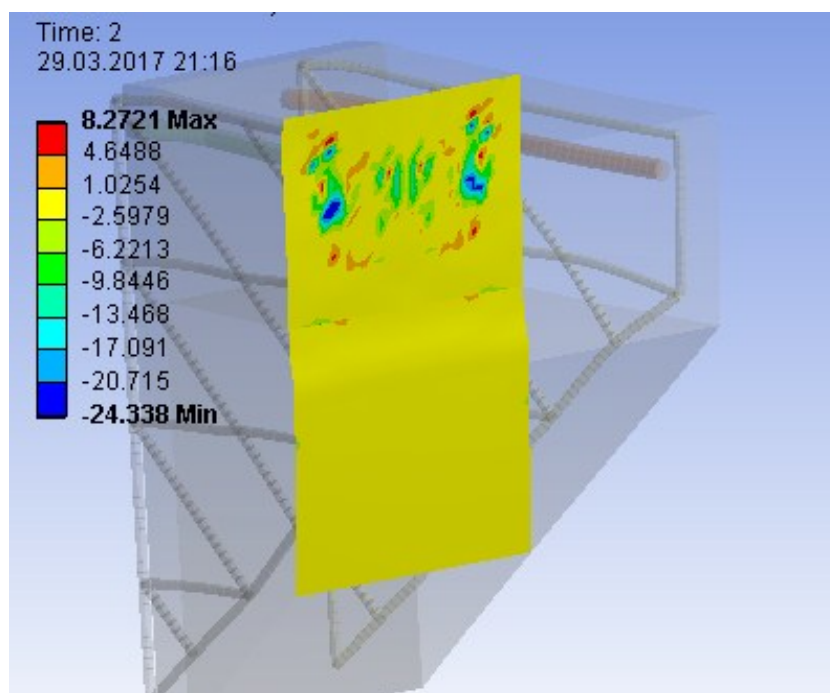


Рис 8. Нормальные напряжения в разрезе выступа колонны

На рисунке 9 изображены места образования трещин элементов согласно деформационному критерию Базанта, места образования трещин элементов представлены рисунком 7.

Ширина раскрытия трещин в данном случае будет соответствовать величине нормальных деформаций элемента колонны (рис. 10).

В данном случае максимальная ширина составит 0,024 мм.

Заключение

В результате можно сделать вывод, что подобранный выступ соответствует строительным нормам и правилам по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по пригодности к нормальной эксплуатации. Данное заключение сделано на основании следующих положений:

1. Арматура не достигла предела текучести, так как её расчётное сопротивление больше полученных максимальных напряжений ($350 > 250$ МПа).

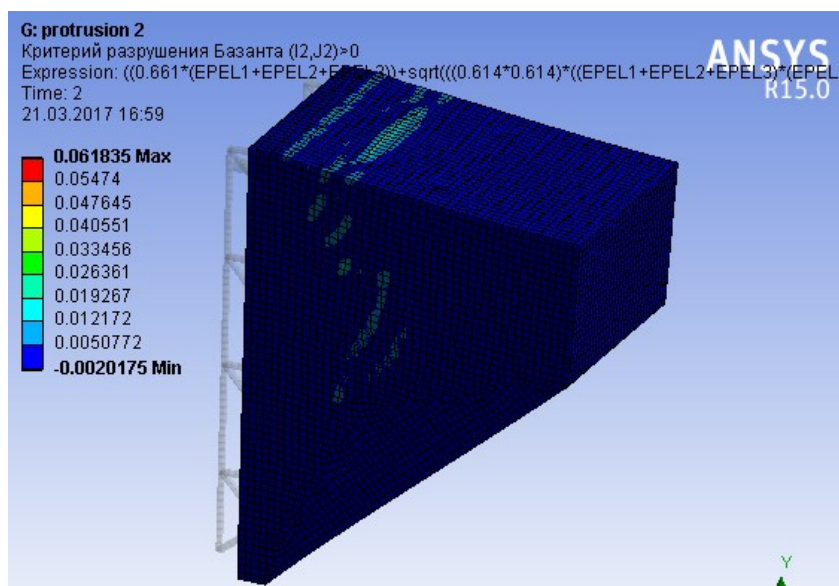


Рис. 9. Трещинообразование в элементах в соответствии с критерием прочности Базанта

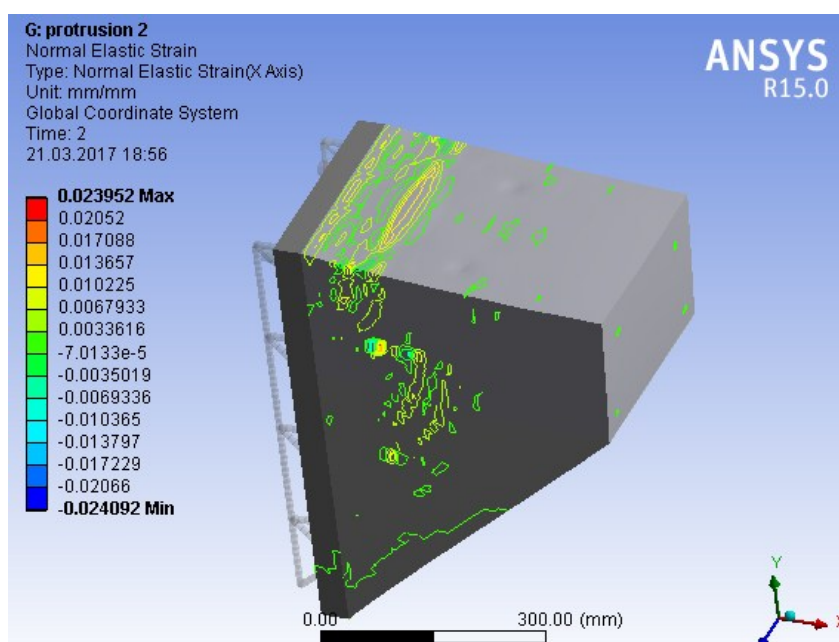


Рис. 10. Изо-поля нормальных деформаций выступа колонны

2. Максимальное перемещение выступа составило 0,67 мм, что меньше допустимого нормативного перемещения ($0,67 < 2L/200 = 4,5$ мм).

3. Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,024 мм, что меньше допустимого значения 0,5 мм.

Значит, прочность, жёсткость и трещиностойкость выступа колонны обеспечены и поставленную задачу можно считать решённой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. С. Разработка алгоритмов численного моделирования балочных конструкций из композитных материалов для портовых и берегозащитных сооружений // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 3(23). С. 88 – 93.
2. Васильев А. С., Тарануха Н. А. Разработка алгоритмов численного исследования конструкций из неоднородной среды методом конечных элементов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2016. № 1(22). С. 78 – 88.
3. Серегин С. В. Экспериментальное исследование частот свободных колебаний оболочек с присоединённой массой / С. В. Серегин, А. С. Васильев, А. В. Космынин, В. М. Козин, А. С. Хвостиков, О. Е. Сысоев, Е. А. Касьянова // Деформирование и разрушение композитных материалов и конструкций: труды второй международной конференции, Москва, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 18 – 20 октября 2016 г. М.: Столица, 2016. 171 – 172 с.
4. Тарануха Н. А., Васильев А. С. Алгоритмы и модели при численном проектировании композитных сред на заданные характеристики для морских сооружений // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1(21). С. 81 – 86.
5. Тарануха Н. А., Васильев А. С. Численное исследование предельной несущей способности конструкций из композитных материалов // Морские интеллектуальные технологии. 2015. Т. 2. № 3(29). С. 27 – 32.
6. Bazant Z. P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete // Journal of the engineering mechanics, ASCE, 1980. Vol. 106. Pp. 1287 – 1306.
7. Lee H. H. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies. SDC Publications, 2012. 608 p. URL: <https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Finite-Element-Simulations-ANSYS-Workbench/ISBN/978-1-58503-725-4/>
8. Willam K. J., Warnke E. P. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete // Colloquium on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, Instituto Speerimentale Modelie Structure (ISMES). Bergamo, May 17 – 18, 1974. Vol. 19. ETH Zurich, 1975. Pp. 1 – 30.

* * *

Vasiliev Alexei S., Bojchin Roman E., Zemliak Vitaly L.
NUMERICAL SIMULATION AND CALCULATION
OF COLUMN PROTRUSION IN MODERN SOFTWARE SYSTEMS
 (Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

In this paper we solve the problem that arose when designing a building and calculating the building elements of its frame. The building is designed in the Revit Structure CAD system. Then

export was carried out to the program complex LIRA CAD 2013 for further calculation. This program performs numerical calculations of structures based on the finite element method (FEM). Note that the ledge assumes a load from the truss and slabs. However, there was a problem in modeling the column protrusion, which the LIRA program did not take into account in the calculation. Therefore, all the load was transferred only to the top of the column. As a result, it became necessary to find new ways to solve this problem, as a result of which the projection was designed and calculated separately in the ANSYS Workbench 15 software.

Key words: designing, numerical modeling, protrusion.

REFERENCES

1. Vasil'ev A. S. Algorithms for the numerical modeling, which was developed for beam structures made of composite materials for port and coast protection structures [Razrabotka algoritmov chislennogo modelirovaniya baloch-nykh konstruktsey iz kompozitnykh materialov dlya portovykh i beregozashchitnykh sooruzheniy], *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 1, no. 3(23), pp. 88–93.
2. Vasil'ev A. S., Taranukha N. A. Development of algorithms of numerical investigation of structures made of inhomogeneous media by finite element method [Razrabotka algoritmov chislennogo issledovaniya konstruktsey iz neodnorodnoy sredy metodom konechnykh elementov], *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*, 2016, no. 1(22), pp. 78–88.
3. Seregin S. V., Vasil'ev A. S., Kosmynin A. V., Kozin V. M., Khvostikov A. S., Sysoev O. E. and Kas'yanova E. A. Experimental study of the frequencies of free vibrations of shells with an attached mass [Eksperimental'noe issledovanie chastot svobodnykh kolebaniy obolochek s prisoedinennoy massoy], *Deformirovanie i razrushenie kompozitnykh materialov i konstruktsey: trudy 2 mezhdunarodnoy konferentsii* (Deformation and destruction of composite materials and structures: Works of the 2 nd International Conference), Moscow, Stolitsa, 2016, pp. 171–172.
4. Taranukha N. A., Vasil'ev A. S. Algorithms and models for numerical designing composite media to the specified characteristics for marine structures [Algoritmy i modeli pri chislenom proektirovanii kompozitnykh sred na zadannye kharakteristiki dlya morskikh sooruzheniy], *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 1, no. 1(21), pp. 81–86.
5. Taranukha N. A., Vasil'ev A. S. Numerical research of the limit bearing capacity of constructions from composite materials [Chislennoe issledovanie predel'noy nesushchey sposobnosti konstruktsey iz kompozitnykh materialov], *Morskie intelektual'nye tekhnologii: Korablestroenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie*, 2015, no. 3(29), vol. 2, pp. 27–32.
6. Bazant Z. P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete // *Journal of the engineering mechanics*, ASCE, 1980, vol. 106, pp. 1287–1306.
7. Lee H. H. *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies*. SDC Publications, 2012. 608 p. Available at: <https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Finite-Element-Simulations-ANSYS-Workbench/ISBN/978-1-58503-725-4/>
8. Willam K. J., Warnke E. P. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete // *Colloquium on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, Instituto Speerimentale Modelie Structure (ISMES)*. Bergamo, May 17–18, 1974, vol. 19. ETH Zurich, 1975, pp. 1–30.

* * *

УДК 001.891.573; 519.6

Н. А. Тарануха, А. С. Васильев**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ
МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В работе применяется новый нелинейный конечный элемент для расчёта конструкций из гетерогенных сред. Учтено изменение механических характеристик материалов в составе гетерогенной среды конечного элемента. Используя данный конечный элемент и численные методы решения нелинейных задач, можно осуществлять расчёт конструкций из неоднородной гетерогенной среды, в области их предельных состояний.

Решение поставленных задач осуществляется при помощи разработанных автором программ. Эти программы реализуют предложенную математическую модель на основе МКЭ. Все программы зарегистрированы, получены свидетельства о государственной регистрации.

Выполнено тестирование и практическая апробация математической модели и программного комплекса. Сформулирована новая методика исследования композитных материалов. Выполнены практические расчёты конкретных конструкций. Получены конкретные результаты. Численное исследование конструкций из гетерогенной среды выполнено на примере железобетонных конструкций. Получены результаты в форме перемещений, напряжений. Показаны зоны разрушения конструкций. В докладе даны рисунки, численные результаты и пояснения.

В первом примере выполняется расчёт статически-определимой балки, с армирующими элементами в её растянутой зоне. Во второй задаче рассмотрена статически-определимая балка из железобетона с предварительным напряжением. Приводятся сопоставления результатов расчёта автора с другими расчётами и данными экспериментов. В третьей задаче выполняется исследование статически-неопределимой рамы на трёх опорах. Выполнено сопоставление расчёта с использованием программного комплекса автора с результатами расчёта в программном комплексе ANSYS и ПК ЛИРА. Значимость результатов определяется двумя факторами. Первый фактор — разработка новой методики исследования конструкций из гетерогенных сред. Второй фактор — практическая реализация новой идеи комбинирования объёмов. Результаты оригинальные.

Ключевые слова: численное исследование; гетерогенная среда; конечный элемент; матрица жёсткости; математическая модель; метод конечных элементов; предельное состояние.

Введение

Численным исследованиям конструкций из гетерогенных материалов посвящено много работ. В настоящее время такие материалы актив-

Тарануха Николай Алексеевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения (Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре); e-mail: taranukha@knastu.ru.

Васильев Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, старший преподаватель (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vasil-grunt@mail.ru.

© Тарануха Н. А. Васильев А. С., 2017

но используют в различных современных отраслях промышленности: строительстве, автомобилестроении и кораблестроении. Большая распространённость композитов требует изучения их свойств, влияющих на жёсткость и несущую способность конструкций на разных этапах их работы под нагрузкой. Существуют различные подходы для учёта совместной работы нескольких материалов в составе одного при изменении механических характеристик этих материалов под нагрузкой.

Теории и модели разрушения композитов наиболее полно представлены в изданиях [9, 10, 11]. Микромеханический подход учитывает геометрию и расположение материалов в составе композита и помогает предсказать поведение гетерогенного материала на основании поведения его отдельных составляющих и их расположения [9]. Макромеханический подход предполагает рассмотрение гетерогенных материалов как анизотропных [11], имеющих различные механические характеристики по различным направлениям. При этом построение модели осуществляется в глобальных осях координат, расположение отдельных материалов внутри гетерогенной среды игнорируется. Большое распространение получил структурно-феноменологический подход для исследования гетерогенных сред [3, 4, 10].

Типичным и наиболее распространённым гетерогенным материалом, сочетающим в себе совместную работу бетона и стальной арматуры, является железобетон. Поведение конструкций из железобетона регламентируется нормативными документами по двум группам предельных состояний. Однако такие методы зачастую учитывают лишь характерные стадии напряжённо-деформированного состояния работы конструкции, а расчёты всех видов сооружений сводят к линейным (стержневым), балочным элементам. При этом необходимо рассматривать конструкции из гетерогенных материалов как плоские или пространственные, в которых трудно выделить характерные стадии работы. В таких случаях обычно выполняется моделирование методом конечных элементов (МКЭ).

Математическая модель для гетерогенного материала

При решении физически-нелинейных задач зависимость между деформациями и напряжениями можно учесть при помощи диаграмм деформирования материалов при кратковременном нагружении. В данной работе использованы зависимости, которые связывают относительные деформации с напряжениями ($\epsilon - \sigma$) при одноосном сжатии и растяжении, которые могут быть получены экспериментально либо аппроксимированы согласно [8]. При этом в качестве типового материала, характеризующего гетерогенную среду, будет использован железобетон как наиболее распространённый и изученный гетерогенный, неоднородный материал. Получение бетона с заданными характеристиками рассмотрено в работе [7].

Взаимодействие нескольких материалов осуществляется за счёт перехода к гетерогенному конечному элементу и расчёту его матрицы жёсткости. Для определения приведённых механических характеристик матрицы жёсткости гетерогенного конечного элемента используется идея комбинирования объёмов [1]:

$$E_{het} = \frac{E(\varepsilon_x)_1 V_1 + E(\varepsilon_x)_2 V_2 + \dots + E(\varepsilon_x)_n V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}, \quad \mu_{het} = \frac{(\mu_1)_x V_1 + (\mu_2)_x V_2 + \dots + (\mu_n)_x V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}, \quad (1)$$

где $E_1, E_2, \dots, E_n$ — нелинейные модули упругости материалов в составе композитного КЭ; $V_1, V_2, \dots, V_n$ — объёмы каждого из материалов в составе композитного КЭ (где n может быть достаточно большим); $(\mu_1)_x, (\mu_2)_x$ и $(\mu_n)_x$ — коэффициенты Пуассона для каждого материала в композитном КЭ.

В качестве метода решения нелинейных задач был использован метод последовательных приближений [3]:

$$[\bar{K}(q^{n-1})][q^n] = [\bar{P}], \quad (2)$$

где n — номер этапа приближения.

Расчёты автора выполняются на основе разработанных и зарегистрированных программ для ЭВМ [5, 6].

Численное исследование статически-определимых конструкций из гетерогенных сред

Рассмотрим железобетонную балку прямоугольного сечения, исследованную в работе [3]. Расчётная схема и дискретная модель балки изображены на рисунке 1.

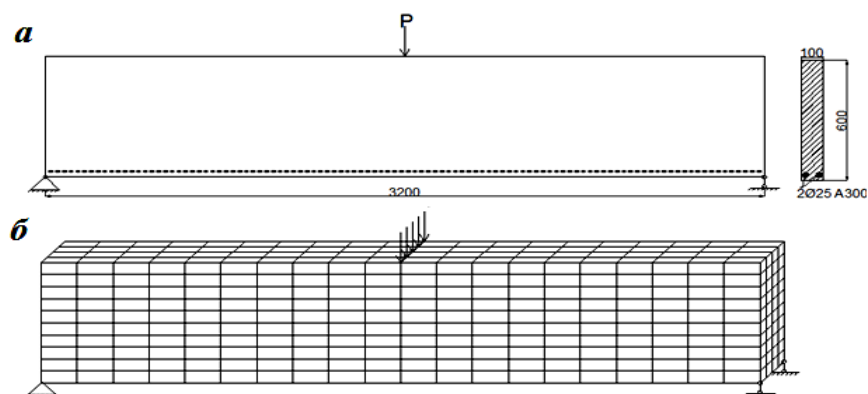


Рис. 1. Модель балки: а — расчётная схема и конструкция железобетонной балки, б — схема разбивки на конечные элементы

Начиная с первой ступени, нагружение осуществлялось вертикальными силами по $\Delta P = 10$ кН. Исходные характеристики материалов: связующее (бетон) $R_b = 20$ МПа, $R_{bt} = 1,75$ МПа, $E_b = 30000$ МПа, $\mu = 0,2$, $\varepsilon_{b_max} = 0,002$, $\varepsilon_{bt_max} = 0,0001$; армирующий элемент (арматура) $R_s = 400$ МПа, $E_s = 200000$ МПа. Критерием прочности железобетонной балки является появление текучести в армирующих элементах в растянутой зоне балки.

На рисунке 2а показано изменение максимальных перемещений в балке на различных этапах нагружения в сравнении с расчётом С. Ф. Клованича по МКЭ [3]. При потере несущей способности нормальные напряжения в верхних слоях балки составили -20 МПа. Рисунок 2б иллюстрирует сравнение отдельных эпюр между расчётом автора и ПК Concord.

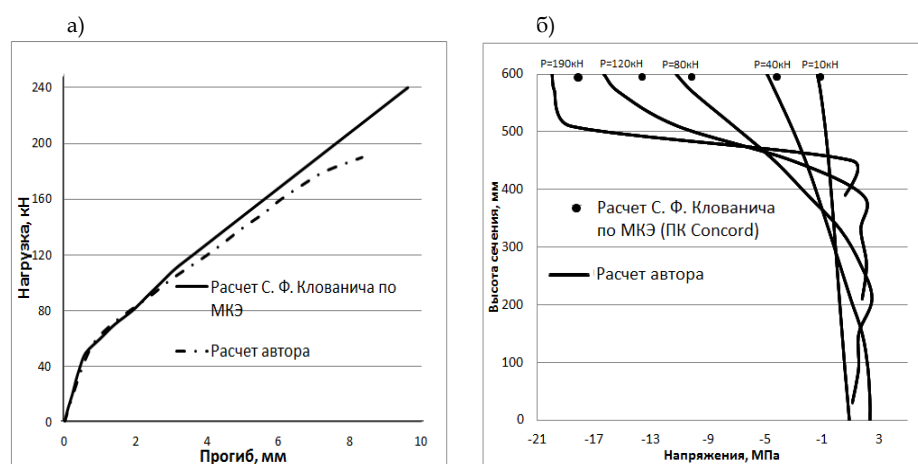


Рис. 2. Сравнение результатов расчёта: а — сравнение изменений прогибов под нагрузкой; б — сравнение некоторых эпюр нормальных напряжений в поперечном сечении середины пролёта балки (расчёта автора наибольшими значениями аналогичных эпюр, полученными в работе С. Ф. Клованича в ПК Concord)

В таблицах 1 и 2 приводятся сопоставление результатов расчётов: прогибов под нагрузкой в момент разрушения и предельной нагрузки на конструкцию.

Таблица 1

№	Максимальный прогиб			Погрешность результатов от расчёта Concord	
	Расчёт Concord	Расчёт автора	СНП	Расчёт автора	СНП
	Δ , мм	Δ , мм	Δ , мм	%	%
1	9,62	8,34	9,3	13,31	3,32

Таблица 2

№	Разрушающая нагрузка			Погрешность результатов от расчёта Concord	
	Расчёт Concord	Расчёт автора	СНиП	Расчёт автора	СНиП
	$P, \text{кН}$	$P, \text{кН}$	$P, \text{кН}$	%	%
1	240	190	200	20,83	16,67

В следующем примере рассматривается сравнение расчёта автора с экспериментальными исследованиями статически-определимой балки из гетерогенного материала с предварительным напряжением, исследованной в работе [4].

На первой ступени имела место горизонтальная нагрузка, моделирующая предварительное напряжение. Начиная со второй ступени, нагружение осуществлялось вертикальными силами по $\Delta P = 5 \text{ кН}$. Исходные характеристики материалов соответствуют опытным значениям и принимались равными: связующее (бетон) — $R_b = 43,5 \text{ МПа}$, $R_{bt} = 2,5 \text{ МПа}$, $E_b = 36000 \text{ МПа}$, $\mu = 0,2$, $\varepsilon_{b_max} = 0,002$, $\varepsilon_{bt_max} = 0,00014$, армирующий элемент (арматура) $R_s = 400 \text{ МПа}$, $E_s = 200000 \text{ МПа}$.

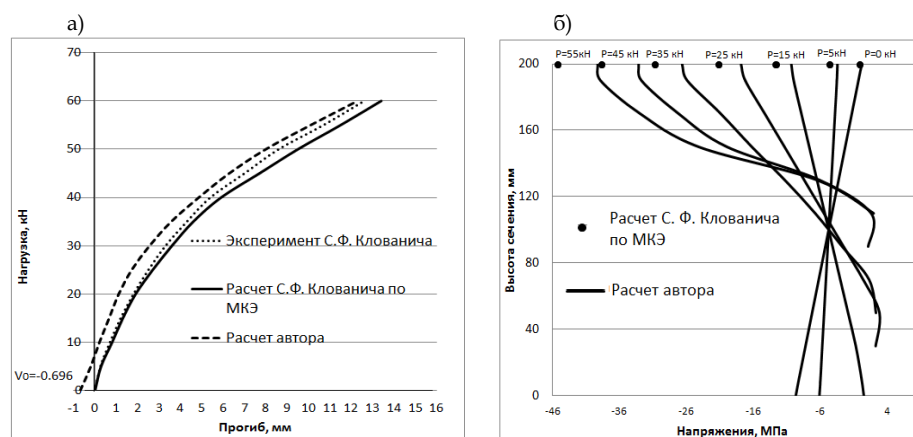


Рис. 3. Сравнение результатов расчёта: а — сравнение изменений прогибов под нагрузкой; б — сравнение некоторых кривых нормальных напряжений в поперечном сечении в середине балки (автора, с наибольшими значениями аналогичных кривых, полученными Клованичем по МКЭ [5])

При этом, как видно на рисунке 3а, при расчёте по модели автора знаки перемещения до приложения вертикальной нагрузки отрицательны. При отсутствии вертикальной нагрузки прогиб балки составил — 0,696 мм. Среднее отклонение верхних точек кривых нормальных напряжений, полученных автором (рис. 3б), от аналогичных точек, полученных Клованичем по МКЭ [4], составило 13,69 %. В таблицах 3 и 4 приводится сопоставление расчётов и данных эксперимента.

Таблица 3

№	Максимальный прогиб			Отклонение результатов расчётов от эксперимента	
	Эксперимент	Расчёт МКЭ	Расчёт автора	Расчёт МКЭ	Расчёт автора
	Δ , мм	Δ , мм	Δ , мм	%	%
1	12,6	13,4	12,3	- 6,35	2,3

Таблица 4

№	Разрушающая нагрузка			Отклонение результатов расчётов от эксперимента	
	Эксперимент	Расчёт МКЭ	Расчёт автора	Расчёт МКЭ	Эксперимент
	P , кН	P , кН	P , кН	%	%
1	65	65	65	0	0

Рисунок 4 иллюстрирует процесс разрушения в балке и исключение конечных элементов из модели. При исключении конечного элемента из характерного слоя напряжения в этом слое также отсутствуют, что подтверждается эпюрами нормальных напряжений по высоте сечения балки на каждой стадии нагружения.

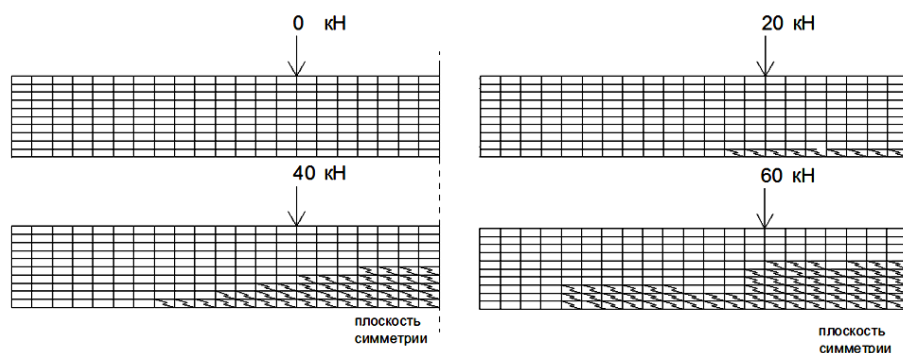


Рис. 4. Разрушение конечных элементов балки на различных стадиях нагружения

Численное исследование статически-неопределимой рамы из гетерогенного материала.

Расчёт двухпролётной железобетонной рамы осуществлялся по МКЭ с использованием разработанных автором программ, а также сравнивался с расчётами в ПК ЛИРА [2] и ANSYS [12].

Характеристики материалов: связующее (бетон) $R_b = 20$ МПа, $R_{bt} = 1,75$ МПа, начальный $E_b = 30000$ МПа, $\mu = 0,2$, $\varepsilon_{b_max} = 0,002$, $\varepsilon_{bt_max} = 0,0001$; армирующие элементы (арматура) класса АIII: $R_s = 400$ МПа, $E_s = 200000$ МПа. $\Delta P = 50$ кН. Шаг нагрузки 50 кН. По достижении нагрузки в 550 кН, $\Delta P = 10$ кН. Расчётная схема и схема армирования конструкции приведены на рисунке 5. Основания стоек рамы жёстко зашпелены, перемещения там запрещены.

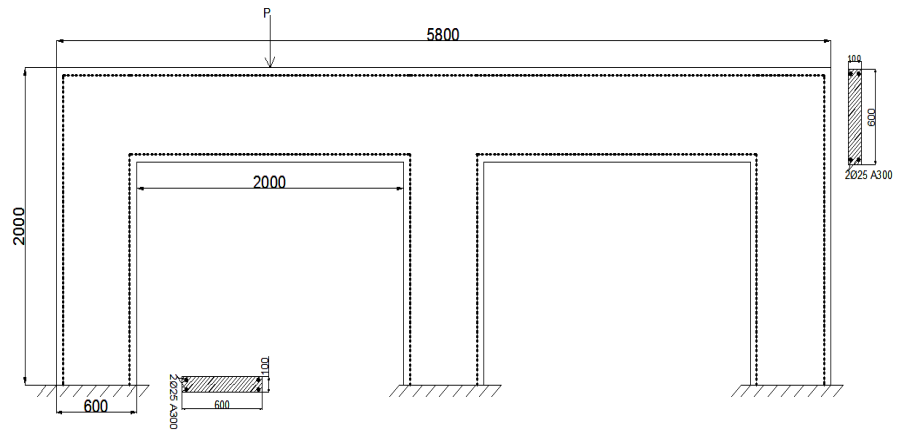


Рис. 5. Расчётная схема двухпролётной рамы

Формы искривления рамы на различных этапах нагружения показывают, как происходило разрушение и выходили из строя конечные элементы конструкции, а также несимметричность разрушения рамы, обусловленную перераспределением усилий (рис. 6).

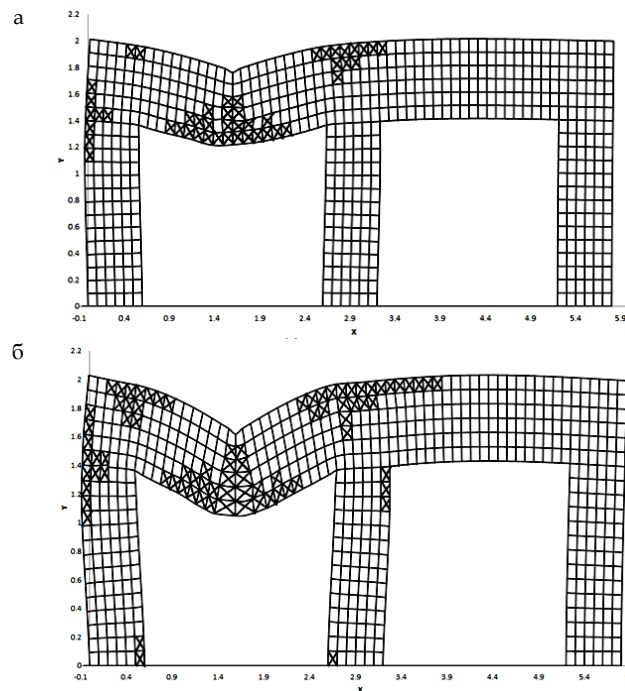


Рис. 6. Формы искривления двухпролётной рамы: а — при $P = 560$ кН;
б — при разрушающей нагрузке $P = 570$ кН

Упругие линии на рисунке 7а показывают, что на стадии, близкой к разрушению, перемещения по длине пролёта распределяются несимметрично. При этом перемещения на разных стадиях работы конструкции изменяются нелинейно, с течением нагружения скорость их изменения увеличивается на каждом шаге. Эпюры нормальных напряжений на рисунке 7б также показывают несимметричность распределения напряжений по длине пролёта.

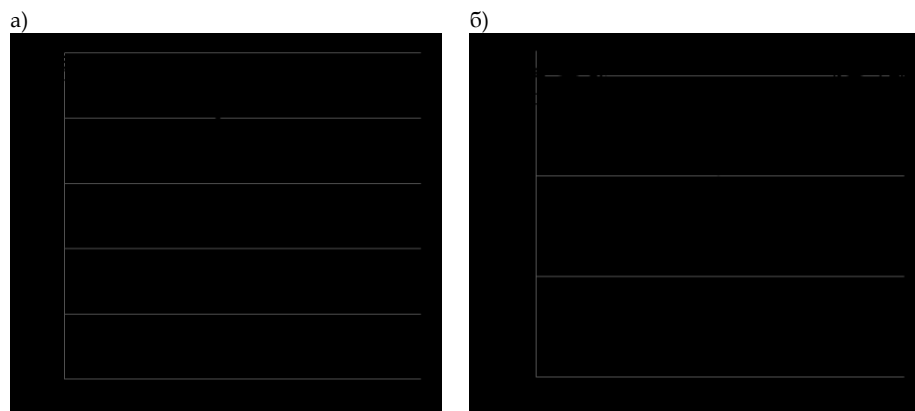


Рис. 7. Результаты расчётов автора на верхней границе нагружаемого пролёта рамы: а — упругие линии вертикальных перемещений, б — эпюры нормальных напряжений нагружаемого пролёта

На рисунке 8 показаны формы искривления рамы и градиенты перемещений при нагрузке перед разрушением и при разрушающей нагрузке. Под разрушением рамы понимается резкий скачок перемещений нагружаемого пролёта, свидетельствующий о потере несущей способности данного пролёта. На рисунке 9 представлены напряжения в арматуре на стадиях перед разрушением конструкции.

Эпюры нормальных напряжений в арматуре на рисунке 10а также несимметричны по длине нагружаемого пролёта рамы. При нагрузке 150 кН армирующие элементы и связующие работают совместно, напряжения в конечном элементе распределяются между ними равномерно. При нагрузке 350 кН виден горизонтальный выброс напряжений, параллельный оси ОХ. При нагрузке 560 кН на стадии, близкой к разрушению, армирующие элементы в растянутой зоне постепенно приближаются к своему пределу текучести. Напряжения в ней в этот момент составили 338,90 кН. На следующем этапе, при нагрузке 570 кН, арматура достигла предела текучести. Из графиков на рисунке 10б видно, что полученные результаты хорошо коррелируют между собой.

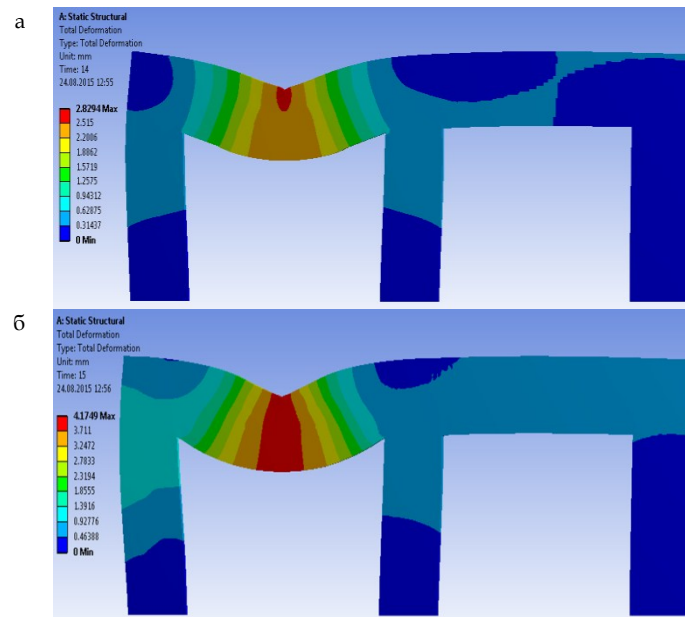


Рис. 8. Формы искривления и градиенты перемещений, полученные в ПК ANSYS: а — при нагрузке перед разрушением $P = 580$ кН; б — при разрушающей нагрузке $P = 590$ кН

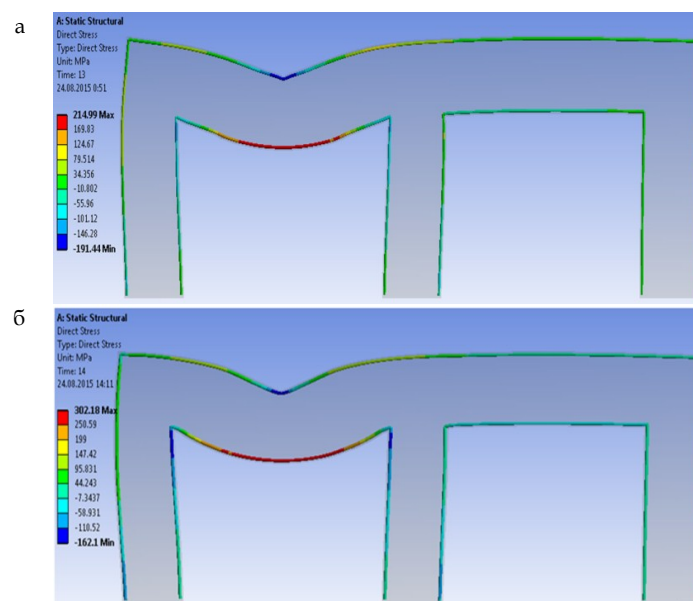


Рис. 9. Результаты расчёта напряжений армирующих элементов композитного материала в ПК ANSYS: а — при нагрузке $P = 570$ кН; б — при нагрузке перед разрушением $P = 580$ кН

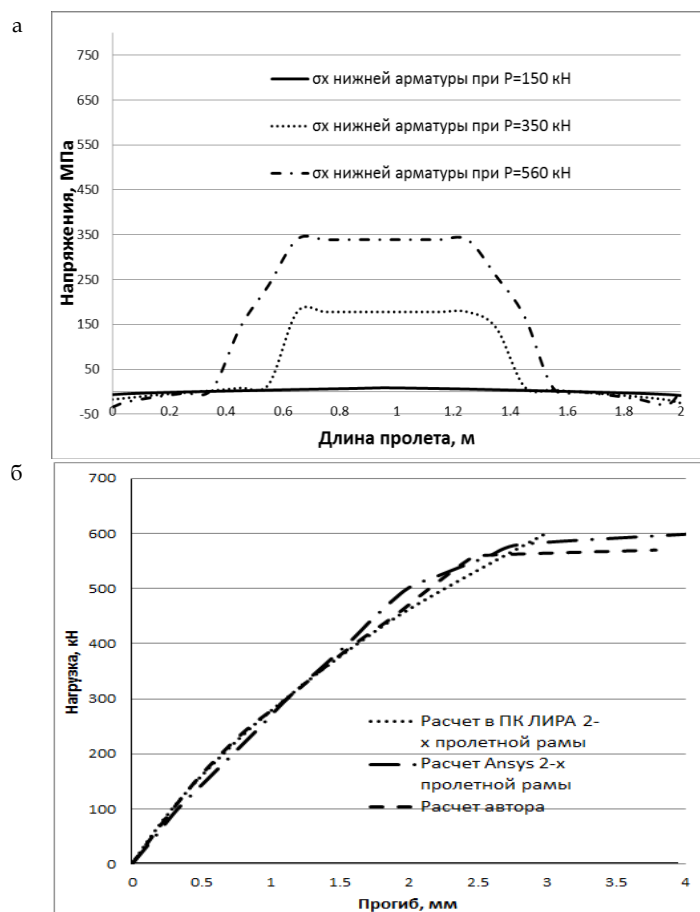


Рис. 10. Результаты расчётов автора: а — нормальные напряжения в нижней арматуре нагружаемого пролёта при нагрузках 150 кН, 350 кН, 560 кН; б — максимальные прогибы нагружаемого пролёта рамы на разных этапах нагружения при расчёте автора, расчёте в ПК ЛИРА, ANSYS

Таблица 5

№	Максимальный прогиб, мм			Отклонение от результатов расчёта ANSYS, %	
	Расчёт автора	ПК ЛИРА	ANSYS	автора	ПК ЛИРА
1	2,52	2,98	2,83	10,95	-5,30
№	Разрушающая нагрузка, кН			Отклонение от результатов расчёта ANSYS, %	
	Расчёт автора	ПК ЛИРА	ANSYS	автора	ПК ЛИРА
2	570	600	590	5	1,69
№	Напряжения в арматуре перед разрушением, МПа			Отклонение от результатов расчёта ANSYS, %	
	Расчёт автора ($P = 560$ кН)	ANSYS ($P = 580$ кН)			
3	338,9	302		-12,23 %	

Заключение

Разработана математическая модель определения напряженно-деформированного состояния конструкций из гетерогенных материалов на различных этапах нагружения, включая предельные. При этом можно учитывать достаточно большое количество составляющих внутри конечного элемента. Предложенную математическую модель возможно применять:

- для установления разрушающей нагрузки и максимальных перемещений и деформаций при разрушении конструкций из композитных материалов при простых напряжённых состояниях. Данные предельные состояния рассматриваемых в работе конструкций (балок и рам) возникают в результате превышения предела текучести армирующих элементов в растянутой зоне;
- для исследования напряжённно-деформированного состояния, установления перемещений, напряжений и деформаций на каждом этапе нагружения конструкции. Предельное состояние конструкции может наступать при разрушении связующего в поперечном сечении конструкции;
- для установления опасных зон и зон разрушения конструкции на различных этапах нагружения, включая предельные;
- для расчётов композитов, имеющих в своём составе инородные включения, газовые пузыри, технологические отверстия. При этом можно учитывать любое количество составляющих внутри композита в пределах конечного элемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. С., Тарануха Н. А. Разработка алгоритмов численного исследования конструкций из неоднородной среды методом конечных элементов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2016. № 1(22). С. 78–88.
2. Гензерский Ю. В. ЛИРА—САПР 2011: учеб. пособие / Ю. В. Гензерский, Д. В. Медведко, О. И. Палиенко, В. П. Титок. К.: Электронное издание, 2011. 396 с.
3. Клованич С. Ф., Безушко Д. И. Метод конечных элементов в расчетах пространственных железобетонных конструкций. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2009. 89 с.
4. Клованич С. Ф., Мироненко И. Н. Метод конечных элементов в механике железобетона. Одесса, 2007. 111 с.
5. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2015610761. Composit: программное обеспечение для расчета перемещений в конструкциях из композитных материалов методом конечных элементов / Васильев А. С., Тарануха Н. А.; правообладатель ФГБОУ ВПО «КНАГТУ». № 2014661694; заявл. 19.11.2014; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 2.
6. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2015610762. Strength: программное обеспечение для исследования напряженно-деформированного состояния объектов на различных стадиях нагружения / Васильев А. С., Тарануха Н. А.; правообладатель ФГБОУ ВПО «КНАГТУ». № 2014661692; заявл.

- 19.11.2014; опублик. 20.02.2015, Бюл. № 2.
7. Тарануха Н. А., Васильев А. С. Алгоритмы и модели при численном проектировании композитных сред на заданные характеристики для морских сооружений // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1(21). С. 81 – 86.
 8. Тарануха Н. А., Васильев А. С. Численное исследование предельной несущей способности конструкций из композитных материалов // Морские интеллектуальные технологии. 2015. Т. 2. № 3(29). С. 27 – 32.
 9. Aboudi J., Arnold S. M., Bednarczyk B. A. *Micromechanics of Composite Materials*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012. 984 p.
 10. Balan T. A., Spacone E., Kwon M. 3D hypoplastic model for cyclic analysis of concrete structures // *Engineering Structures*. 2001. № 23. P. 333 – 342.
 11. Dvornik G. J. *Micromechanics of Composite Materials*. Dordrecht Heidelberg, New York, London: Springer Science+Business Media, 2013. 454 p.
 12. Lee H. H. *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies*. SDC Publications, 2012. 608 p. URL: <https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Finite-Element-Simulations-ANSYS-Workbench/ISBN/978-1-58503-725-4/>

* * *

Taranukha Nikolay A., Vasiliev Alexei S.
NUMERICAL RESEARCH THE CONSTRUCTION
OF A HETEROGENEOUS ENVIRONMENT BASED
ON THE FINITE ELEMENT METHOD

(Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur;
 Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The paper is used a new nonlinear finite element for analysis of structural of heterogeneous media. Taken into account change in the mechanical properties of materials as part of a heterogeneous media of finite element. Using this finite element and numerical methods for solving nonlinear problems, can be carried out structural analysis of a heterogeneous media, in their limit states.

Solution of tasks carried out by means of programs developed by the author. These programs implement the proposed mathematical model based on the finite element method. All of these programs are registered, received the certificate on State registration.

Carried out testing and practical approbation of mathematical models and software. Formulated a new method of research of composite materials. Completed practical calculations specific structures. Concrete results obtained. Numerical research of constructions of heterogeneous media performed on an example of reinforced concrete structures. The results obtained in the form of displacements, stresses. Showing of constructions fracture zone. The paper given to the drawings, the numerical results and explanations.

The first example calculates statically determinate beams, with reinforcements in its tensile zone. In the second problem considered statically determinate beam of reinforced concrete with prestressed. Comparisons of the results of calculations of the author with other calculations and experimental data presented. In the third example, you research a statically indeterminate frame on three supports. The comparison of the calculation using the software package to the author, with the results of the calculation in the software package ANSYS and PC LIRA. The significance of the results is determined by two factors. The first factor — the development of new methods of investigation the composite materials and structures. The second factor — the practical realization the new idea of combining volumes. The results original

Keywords: numerical research; heterogeneous media; finite element; the stiffness matrix; a mathematical model; finite element method; limit state.

REFERENCES

1. Vasil'ev A. S., Taranukha N. A. Development of algorithms of numerical investigation of structures made of inhomogeneous media by finite element method [Razrabotka algoritmov chislennogo issledovaniya konstruktsey iz neodnorodnoy sredy metodom konechnykh elementov], *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*, 2016, no. 1(22), pp. 78–88.
2. Genzerskiy Ju. V., Medvedeko D. V., Palienko O. I., Titok V. P. *LIRA – SAPR 2011* (LIRA – CAD 2011), Textbook, Kiev, Jelektronnoe izdanie Publ., 2011. 396 p.
3. Klovanih S. F., Bezushko D. I. *Metod konechnykh elementov v raschetakh prostranstvennykh zhelezobetonnykh konstruktsey* (Finite Element Method nonlinear analysis of spatial reinforced concrete structures), Odessa, ONMU Publ., 2009. 89 p.
4. Klovanih S. F., Mironenko I. N. *Metod konechnykh elementov v mekhanike zhelezobetona* (Finite Element Method in the mechanics of reinforced concrete), Odessa, 2007. 111 p.
5. Vasilyev A. S., Taranukha N. A. *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM 2015610761. Composit: programmnoe obespechenie dlya rascheta peremeshcheniy v konstruktseyakh iz kompozitnykh materialov metodom konechnykh elementov* (The certificate of registration of a computer program no. 2015610761. Composit: Software for the calculation displacements in structures made of composite materials using finite element method), published on 20.02.2015, Bulletin no. 2.
6. Vasilyev A. S., Taranukha N. A. *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM 2015610762. Strength: programmnoe obespechenie dlya issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ob"ektov na razlichnykh stadiyakh nagruzheniya* (The certificate of registration of a computer program no. 2015610762. Strength: Software for the study stress-strain state of objects at various stages of loading), published on 20.02.2015, Bulletin no. 2.
7. Taranukha N. A., Vasil'ev A. S. Algorithms and models for numerical designing composite media to the specified characteristics for marine structures [Algoritmy i modeli pri chislenom proektirovanii kompozitnykh sred na zadannye kharakteristiki dlya morskikh sooruzheniy], *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 1, no. 1(21), pp. 81–86.
8. Taranukha N. A., Vasil'ev A. S. Numerical research of the limit bearing capacity of constructions from composite materials [Chislennoe issledovanie predel'noy nesushchey sposobnosti konstruktsey iz kompozitnykh materialov], *Morskie intellektual'nye tekhnologii: Korablestroenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie*, 2015, no. 3(29), vol. 2, pp. 27–32.
9. Aboudi J., Arnold S. M., Bednarczyk B. A. *Micromechanics of Composite Materials*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2012. 984 p.
10. Balan T. A., Spacone E., Kwon M. 3D hypoplastic model for cyclic analysis of concrete structures, *Engineering Structures*, 2001, no. 23, pp. 333–342.
11. Dvorak G. J. *Micromechanics of Composite Materials*. Dordrecht Heidelberg, New York London, Springer Science+Business Media, 2013. 454 p.
12. Lee H. H. *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies*. SDC Publications, 2012. 608 p. Available at: <https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Finite-Element-Simulations-ANSYS-Workbench/ISBN/978-1-58503-725-4/>

* * *

УДК 001.891.573; 519.6; 539.3

К. И. Ипатов, В. Л. Земляк,**В. М. Козин, А. С. Васильев****ИССЛЕДОВАНИЕ
НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕГО
ДВИЖУЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ**

В работе представлено исследование по определению напряжённо-деформированного состояния ледяного покрова от воздействия движущихся нагрузок. В модельных экспериментах использовались образцы в виде ледовых балок. Их физико-механические свойства определялись с помощью испытаний, проводимых на специальном нагружающем устройстве. Разрушение происходило под действием чистого изгиба. На основе полученных данных в программном комплексе ANSYS были выполнены численные расчёты. Результатом стало определение напряжённо-деформированного состояния образцов в любой момент нагружения вплоть до полного разрушения. Работоспособность алгоритма подтверждается путём сопоставления численных расчётов с данными модельных экспериментов.

Ключевые слова: ледовая балка, чистый изгиб, численное моделирование.

Введение

На сегодняшний день в Арктике обнаружено более 60 крупных месторождений углеводородов, 43 из которых расположены в российском секторе. По оценкам специалистов, сейчас в регионе сосредоточено до 30 % мировых неразведанных запасов газа и 13 % — нефти. Суммарный

Ипатов Константин Игоревич — аспирант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: ipatov-1992@list.ru.

Земляк Виталий Леонидович — кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

Козин Виктор Михайлович — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией механики деформируемого твердого тела (Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, Комсомольск-на-Амуре); e-mail: kozinvictor@rambler.ru.

Васильев Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, старший преподаватель (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vasil-grunt@mail.ru.

Работа выполнена в рамках проекта 9.4934.2017/БЧ «Определение влияния ледовых условий на несущую способность ледяного покрова при использовании его в качестве ледовых переправ», задания на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания вузу.

© Ипатов К. И., Земляк В. Л., Козин В. М., Васильев А. С., 2017

объём извлекаемых ресурсов российской части Арктики оценивается в 106 млрд тонн. Однако, несмотря на огромные богатства Арктического шельфа, при реализации проектов в этом регионе необходимо решение целого комплекса серьёзных проблем, в первую очередь экологического, экономического и транспортно-технологического плана. Особое внимание вызывают вопросы добычи и транспортировки полезных ископаемых. С учётом суровых климатических условий, короткого сезона открытой воды, постоянного присутствия льда возникает необходимость создания специальных транспортных средств для перевозки полезных ископаемых и обеспечения снабжения, с помощью которых можно решать поставленные задачи. Эксплуатация транспортных средств зачастую осуществляется по поверхности ледяного покрова (рис. 1), при этом не всегда есть возможность использовать лёд, толщина которого бы (1 м и более) обеспечивала безопасность для людей и техники. Известно, что при перемещении нагрузки с определённой (критической) скоростью по поверхности льда, в системе «лёд — вода» возможно возникновение прогрессивных изгибно-гравитационных волн, при определённой интенсивности которых может произойти частичное или полное разрушение льда [4]. В связи с этим весьма актуальной становится задача прогнозирования несущей способности льда в зависимости от его физико-механических свойств при воздействии на него движущихся нагрузок.

Целью работы является исследование напряжённо-деформированного состояния ледяного покрова от воздействия на него динамической нагрузки.



Рис. 1. Эксплуатация транспортной техники в условиях Арктики

1. Определение физико-механических характеристик льда

На первом этапе исследования была выполнена серия модельных экспериментов по разрушению ледовых образцов с целью определения их физико-механических свойств. Ледовые образцы размерами $L \times B \times H = 2\,000 \times 200 \times 200$ мм приготавливались в специальной опалубке при воздействии низких атмосферных температур. Для разрушения образцов использовалась универсальная экспериментальная установка. Основу установки составляет гидравлический пресс, состоящий из стоек, станин, верхней и нижней балок и привода. Пресс был дополнен специально спроектированным и изготовленным цельносварным металлическим поддоном, на который укладывался опытный образец.

Установка снабжена измерительным комплексом в виде бесконтактного лазерного датчика LAS-Z компании Way Con (Германия) для определения величины прогиба испытуемого образца и весовым терминалом, снабжённым тензодатчиком LPA компании «ТОКВЕС». В собранном виде изображение экспериментальной установки показано на рисунке 2.

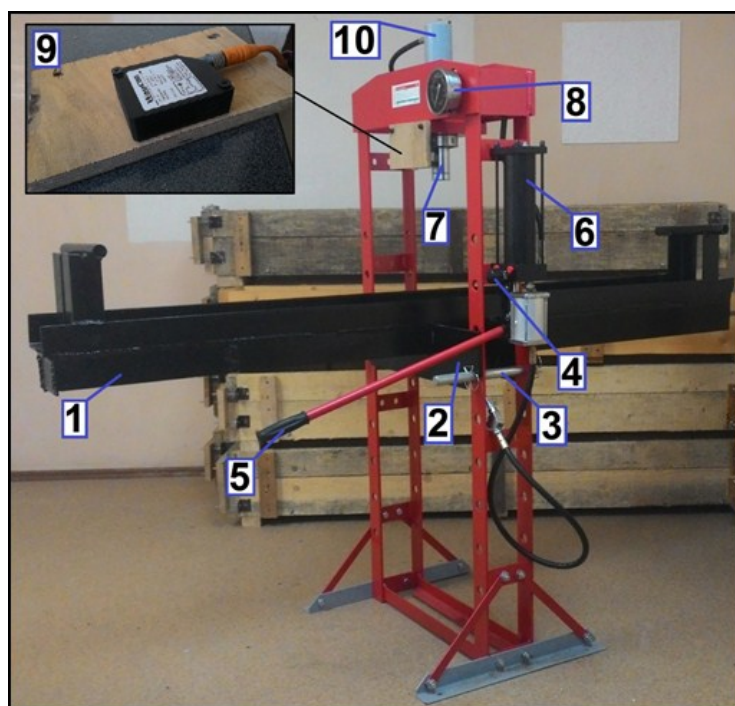


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1 – металлический поддон;
2 – рабочая площадка; 3 – регулировочные штыри;
4 – головка выпускного клапана гидронасоса; 5 – ручка насоса;
6 – гидронасос; 7 – шток; 8 – манометр;
9 – бесконтактный лазерный датчик; 10 – гидроцилиндр

Так как при перемещении нагрузки по льду растрескивание и разрушение льда происходит за счёт волнового нагружения, ледовые образцы разрушились путём моделирования чистого изгиба, для этого использовалось специальное устройство, устанавливаемое перед началом экспериментов на опытный образец. Скорость нагружения для всех образцов была постоянной и составила 135 кПа/с. Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 3 [3].

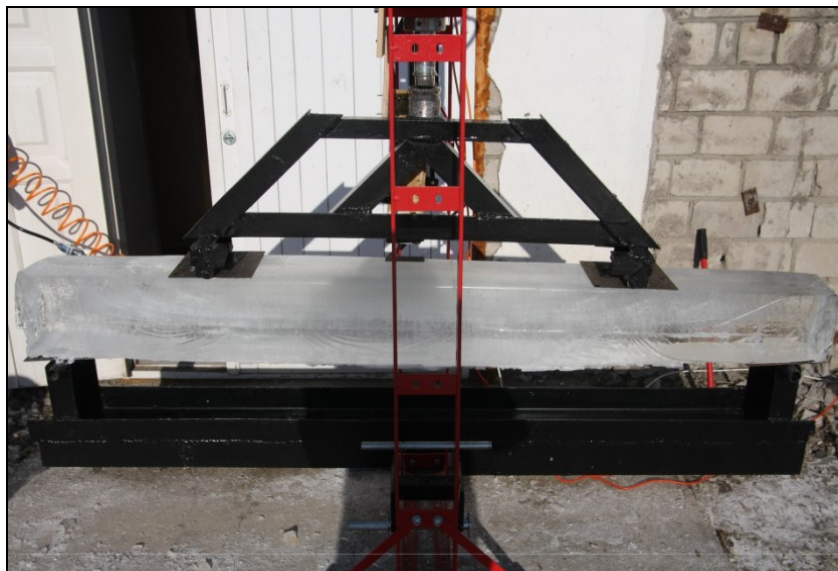


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки с установленным ледовым образцом

В ходе экспериментов определялась величина прогиба балки от нагрузки, подаваемой на испытуемый образец. Основные результаты экспериментов показаны в таблице 1.

Таблица 1

Данные эксперимента при разрушении ледовой балки

t нагруж., сек	m нагрузка, кг	f прогиб, мм
0	0	0
1,4	198	2,16
1,7	252	2,52
2,3	317	3,48
2,6	367	4,08
3,8	345	5,64

На рисунке 4 представлена расчётная схема ледовой балки. Общая нагрузка от пресса распределялась поровну между нагрузками P .

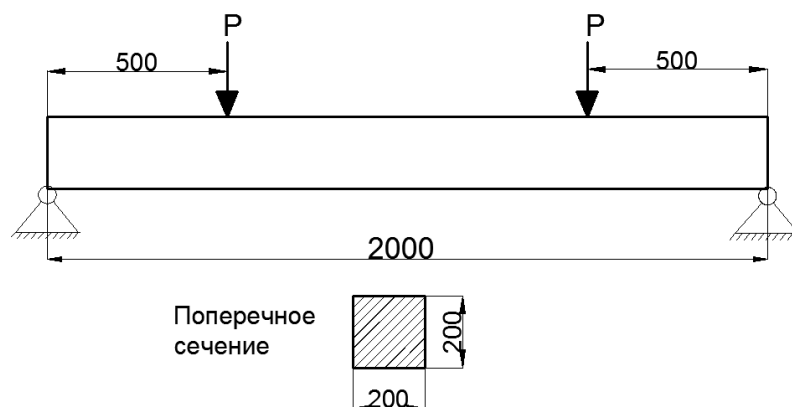


Рис. 4. Расчётная схема ледовой балки

При изгибе балок на двух опорах, с расчётной схемой, имитирующей чистый изгиб, модуль Юнга определяют путём измерений прогиба:

$$E = \frac{Pl^3}{24fI_x} \left(\frac{3a}{l} - \frac{4a^3}{l^3} \right), \quad (1)$$

где P — нагрузка; l — рабочая длина образца (между опорами); b — ширина балки; h — высота балки; f — величина прогиба; I_x — момент инерции сечения в плоскости изгиба. При этом модуль Юнга определяется на упругом (линейном) участке диаграммы «нагрузка — прогиб».

2. Численные исследования напряжённо-деформированного состояния ледовых балок в программе ANSYS

Численный расчёт напряжённо-деформированного состояния образцов выполнялся в программном комплексе ANSYS Workbench v15 с использованием модуля ANSYS Mechanical. Численным исследованиям НДС армированных конструкций посвящены работы [1, 2, 5, 6, 7].

Для расчёта ледяной балки использовались следующие механические характеристики льда: начальный модуль упругости $E = 765$ МПа, прочность при одноосном сжатии $Rb = 0,6$ МПа, прочность при одноосном растяжении $Rbt = 0,48$ МПа, плотность $\rho = 930$ кг/м³, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$. Механические характеристики определялись из выражений (1–3). Геометрические характеристики: высота сечения 200 мм, ширина сечения 200 мм, длина балки 2000 мм, расстояние от торца балки до точки приложения нагрузок с каждой стороны равное и составило 500 мм. Плотность необходима для учёта собственного веса балки. Расчёт выполнялся при последовательном увеличении нагрузки на балку. Время увеличения и шаг нагрузки брались в соответствии с экспериментальными данными (таблица 1).

Программный комплекс ANSYS [9] выполняет расчёты методом конечных элементов. Для расчётов использовался нелинейный конечный элемент Solid 65 в форме гексаэдра, реализующий модель прочности Willama-Warnke [10]. Конечно-элементная сетка представлена на рисунке 5. На рисунке 6 показаны изополя перемещений балки на последнем этапе нагружения при разрушении.

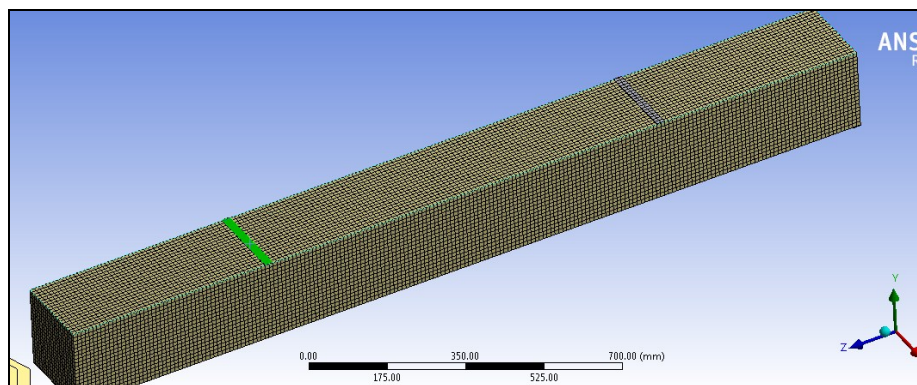


Рис. 5. Дискретная модель ледовой балки

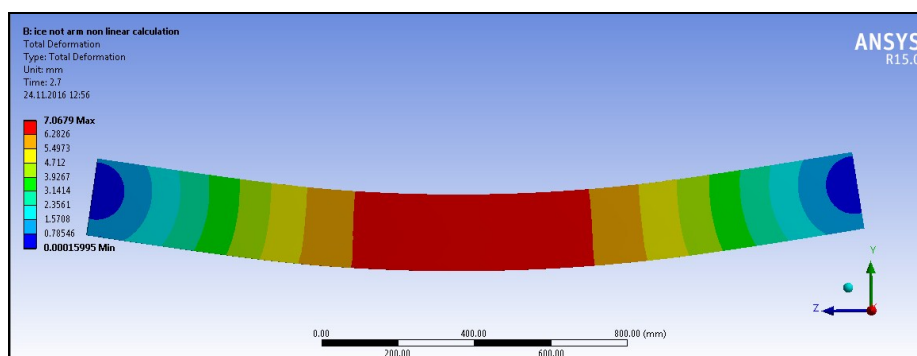


Рис. 6. Максимальный прогиб ледовой балки

На рисунке 7 показаны касательные напряжения в середине балки. Они на порядок ниже нормальных, а их наличие обусловлено действием нагрузки от собственного веса балки.

На рисунке 8 представлены напряжения (МПа) в центральном сечении балки при нагрузке 252 кг до момента разрушения.

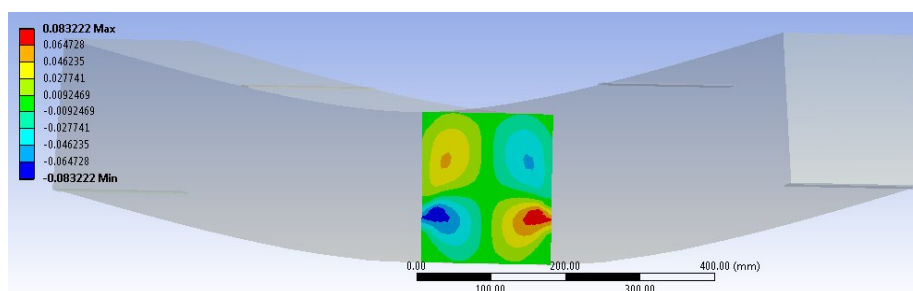


Рис. 7. Касательные напряжения в плоскости XY при разрушении

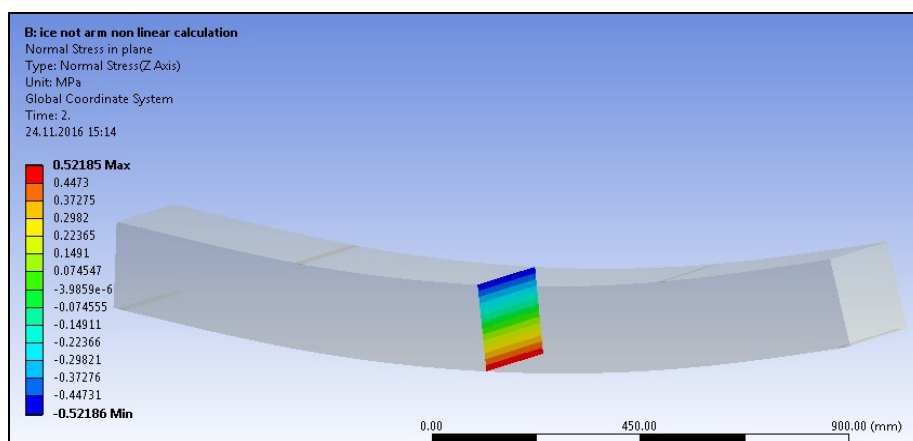


Рис. 8. Нормальные напряжения в центральном сечении балки при нагрузке 252 кг

Расчёты показали, что при нагрузке 400 кг, происходит смещение нейтральной оси балки (рис. 9). В нижней части сечения напряжения падают и приближаются к нулевым значениям, т. е. образец разрушается. На рисунке 10 показано разрушение балки в результате формирования сквозной поперечной трещины сквозь все сечение, в качестве деформационного критерия прочности использован критерий Базанта [8]. Расположение сквозной трещины при численном моделировании соотносится с результатами эксперимента по разрушению образца (рис. 11).

На рисунке 12 показано сравнение результатов эксперимента и расчёта в ПК ANSYS. Стоит отметить высокую сходимость полученных результатов. Так, погрешность между данными для нагрузки, при которой происходило разрушение образцов, составила менее 1 % (таблица 2).

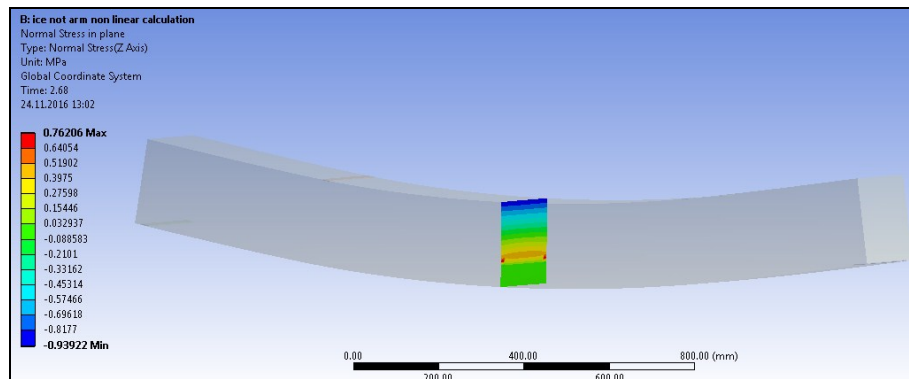


Рис. 9. Нормальные напряжения в центральном сечении балки при нагрузке 350 кг

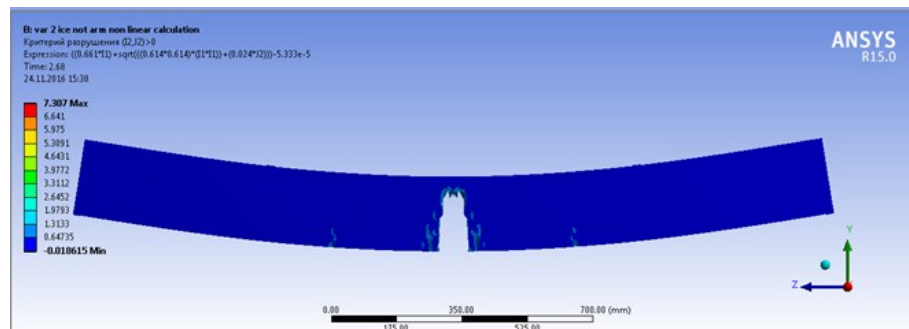


Рис. 10. Трещинообразование в балке при численном моделировании

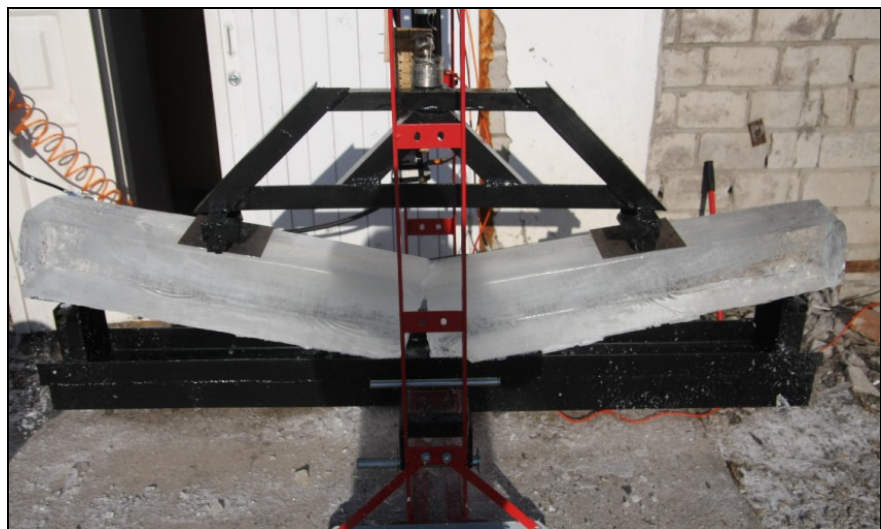


Рис. 11. Разрушение модельного образца в ходе проведения эксперимента

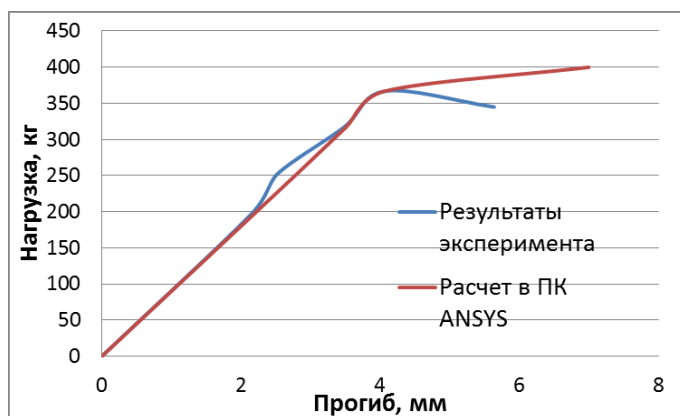


Рис. 12. Сравнение результатов эксперимента и расчёта в ПК ANSYS

Таблица 2

Результаты исследований для нагрузки, при которой произошло разрушение образца

Прогиб f , мм		Разрушающая нагрузка m , кг	
Эксперимент	Расчёт МКЭ (ANSYS)	Эксперимент	Расчёт МКЭ (ANSYS)
4,05	4,07	367	370

Заключение

В результате экспериментальных исследований получены физико-механические характеристики модельных образцов.

Разработан алгоритм, позволяющий численно с помощью пакета ANSYS моделировать нагружение ледовой балки и оценивать её напряжённо-деформированное состояние в любой момент времени вплоть до полного разрушения. Работоспособность алгоритма подтверждается путём сопоставления численных расчётов с данными модельных экспериментов. Получена высокая сходимость результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. С. Разработка алгоритмов численного моделирования балочных конструкций из композитных материалов для портовых и берегозащитных сооружений // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 3(23). С. 88–93.
2. Васильев А. С., Тарануха Н. А. Разработка алгоритмов численного исследования конструкций из неоднородной среды методом конечных элементов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2016. № 1(22). С. 78–88.
3. Козин В. М., Земляк В. Л., Ипатов К. И. Установка для испытаний ледовых балок, усиленных поверхностным армированием // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2016. № 1 (22). С. 32–

41.

4. Козин В. М., Земляк В. Л. Физические основы разрушения ледяного покрова резонансным методом. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, ПГУ им. Шолом-Алейхема, АмГПУ. 2013. 250 с.
5. Серегин С. В. Экспериментальное исследование частот свободных колебаний оболочек с присоединённой массой / С. В. Серегин, А. С. Васильев, А. В. Космынин, В. М. Козин, А. С. Хвостиков, О. Е. Сысоев, Е. А. Касьянова // Деформирование и разрушение композитных материалов и конструкций: труды второй международной конференции, Москва, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 18–20 октября 2016 г. М.: Столица, 2016. 225 с.
6. Тарануха Н. А., Васильев А. С. Алгоритмы и модели при численном проектировании композитных сред на заданные характеристики для морских сооружений // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1(21). С. 81–86.
7. Тарануха Н. А., Васильев А. С. Численное исследование предельной несущей способности конструкций из композитных материалов // Морские интеллектуальные технологии. 2015. Т. 2. № 3(29). С. 27–32.
8. Bazant Z. P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete // Journal of the engineering mechanics, ASCE, 1980. Vol. 106. Pp. 1287–1306.
9. Lee H. H. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies. SDC Publications, 2012. 608 p. URL : <https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Finite-Element-Simulations-ANSYS-Workbench/ISBN/978-1-58503-725-4/>
10. Willam K. J., Warnke E. P. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete // Colloquium on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, Instituto Speerimentale Modelie Structure (ISMES). Bergamo, May 17–18, 1974. Vol. 19. ETH Zurich, 1975. Pp. 1–30.

* * *

Ipatov Konstantin I., Zemliak Vitaly L., Kozin Victor M., Vasiliev Alexei S.

THE RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE OF ICE COVER FROM THE IMPACT OF A MOVING LOAD

(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan;
Institute of Machining and Metallurgy, FEB RAS, Komsomolsk-on-Amur)

This paper gives the research on definition of stress-strain state of ice cover from the impact of moving loads. In the model experiments we used patterns in the form of ice beams. Their physical and mechanical properties were determined by tests on a special loading device. Destruction took place under the action of pure bending. Based on the obtained data, numerical calculations were performed in the ANSYS software package. The result was the determination of the stress-strain state of the pattern at any moment of loading up to complete destruction. The efficiency of the algorithm is confirmed by comparing the numerical calculations with the data of model experiments.

Keywords: ice beam, pure bending, numerical research.

REFERENCES

1. Vasil'ev A. S. Algorithms for the numerical modeling, which was developed for beam structures made of composite materials for port and coast protection structures [Razrabotka algoritmov chislenno modelirovaniya baloch-nykh kon-

- struktsiy iz kompozitnykh materialov dlya portovykh i beregozashchitnykh sooruzheniy], *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 1, no. 3(23), pp. 88–93.
2. Vasil'ev A. S., Taranukha N. A. Development of algorithms of numerical investigation of structures made of inhomogeneous media by finite element method [Razrabotka algoritmov chislennogo issledovaniya konstruktsiy iz neodnorodnoy sredy metodom konechnykh elementov], *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*, 2016, no. 1(22), pp. 78–88.
 3. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Ipatov K. I. Unit for testing the ice beams strengthened by surface reinforcement [Ustanovka dlya ispytaniy ledovykh balok, usilennykh poverkhnostnym armirovaniem], *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*, 2016, no. 1(22), pp. 32–41.
 4. Kozin V. M., Zemlyak V. L. *Fizicheskie osnovy razrusheniya ledyanogo pokrova rezonansnym metodom* (Physical Fundamentals of Ice Cover Destruction Resonance Method), Komsomolsk-on-Amur, 2013. 250 p.
 5. Seregin S. V., Vasil'ev A. S., Kosmynin A. V., Kozin V. M., Khvostikov A. S., Sysoev O. E. and Kas'yanova E. A. Experimental study of the frequencies of free vibrations of shells with an attached mass [Eksperimental'noe issledovanie chastot svobodnykh kolebaniy obolochek s prisoedinennoy massoy], *Deformirovanie i razrushenie kompozitnykh materialov i konstruktsiy: trudy 2 mezhdunarodnoy konferentsii* (Deformation and destruction of composite materials and structures: Works of the 2 nd International Conference), Moscow, Stolitsa, 2016, pp. 171–172.
 6. Taranukha N. A., Vasil'ev A. S. Algorithms and models for numerical designing composite media to the specified characteristics for marine structures [Algoritmy i modeli pri chislennom proektirovanii kompozitnykh sred na zadannye kharakteristiki dlya morskikh sooruzheniy], *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 1, no. 1(21), pp. 81–86.
 7. Taranukha N. A., Vasil'ev A. S. Numerical research of the limit bearing capacity of constructions from composite materials [Chislennoe issledovanie predel'noy nesushchey sposobnosti konstruktsiy iz kompozitnykh materialov], *Morskie intelektual'nye tekhnologii: Korablestroenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie*, 2015, no. 3(29), vol. 2, pp. 27–32.
 8. Bazant Z. P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete // *Journal of the engineering mechanics*, ASCE, 1980, vol. 106, pp. 1287–1306.
 9. Lee H. H. *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies*. SDC Publications, 2012. 608 p. Available at: <https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Finite-Element-Simulations-ANSYS-Workbench/ISBN/978-1-58503-725-4/>
 10. Willam K. J., Warnke E. P. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete // *Colloquium on Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses, Instituto Speerimentale Modelie Structure* (ISMES). Bergamo, May 17–18, 1974, vol. 19. ETH Zurich, 1975, pp. 1–30.

* * *

УДК 004.04

А. С. Смирнова, Н. В. Чепулаев**СОЗДАНИЕ КЛИЕНТСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ
ПО КОМБИНИРОВАНИЮ МЕНЮ
ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ ДОШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Авторами представлена разработка веб-ориентированного приложения, оптимизирующего и автоматизирующего процессы организации питания, выполняющего роль базы данных для длительного хранения информации. В статье указаны преимущества созданного программного обеспечения «Детский сад. Организация питания»: ведение технологических карт и рецептур блюд, составление плана-меню на десятидневный период в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями, учёт химического состава, витаминов, веса и стоимости блюд, интуитивно понятный графический интерфейс с логически выстроенной пошаговой работой, возможность интеграции клиентского приложения в большинство существующих операционных систем даже с минимальным установленным пакетом программного обеспечения.

Ключевые слова: дошкольное образовательное учреждение; питание; меню; санитарно-эпидемиологические требования; комбинирование; автоматизация; веб-ориентированное приложение.

Система работы большинства муниципальных учреждений и частных организаций РФ устроена так, что за относительно небольшое время, которое выделяется на расчётно-распределительные процессы, требуется обрабатывать большие массивы нормативных, законодательных, статистических и других данных. Существуют сотни тысяч организаций по всему миру, занимающихся программной оптимизацией человеко-часов. Например, то, на что человеку требуется потратить два часа работы, программа может выполнить за считанные секунды. Этот толчок развития человечества в настоящее время затрагивает абсолютно все сферы жизнедеятельности человека, так или иначе ускоряя процесс решения поставленной задачи.

Рассмотрим оптимизацию процесса комбинирования десятидневного меню для муниципального бюджетного дошкольного образовательного учреждения «Детский сад № 16» г. Биробиджана.

Под правильно сбалансированным питанием понимается питание, полностью отвечающее возрастным физиологическим потребностям

Смирнова Анна Сергеевна — кандидат педагогических наук, доцент (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: dmvan2013@mail.ru.

Чепулаев Николай Васильевич — главный специалист (Компания DOMINO, Биробиджан); e-mail: chepulaev@ya.ru.

© Смирнова А. С., Чепулаев Н. В., 2017

детского организма в основных пищевых веществах и энергии. Утверждены нормы питания детей в дошкольных учреждениях, которые представлены в санитарно-эпидемиологических требованиях к устройству, содержанию и организации режима работы в дошкольных организациях (Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 августа 2015 г. N 41 «О внесении изменений в СанПиН 2.4.1.3049-13 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных организаций») [1].

Составление меню предполагает перечисление всех блюд, которые входят в ежедневный рацион ребенка. Обязательным условием при этом является обеспечение ребёнка всеми пищевыми веществами в зависимости от его возрастных потребностей. Поэтому при составлении меню важно учитывать химический состав и калорийность входящих в него продуктов.

Значит, для реализации программы по автоматизированному составлению меню для дошкольных учреждений нужно учитывать следующие положения:

- ежесуточная норма расходов на питание детей;
- ежесуточные нормы продуктов, утверждённые действующим СанПиН;
- возможность закупки тех или иных продуктов, необходимых для приготовления блюд;
- ежесуточные весовые нормы блюд, утверждённые действующим СанПиН;
- химический состав продуктов;
- рецептура, используемая для приготовления блюд [3].

Для решения поставленных задач разработано веб-ориентированное приложение, способное оптимизировать и автоматизировать процессы организации питания, а также выполнять роль базы данных для длительного хранения информации.

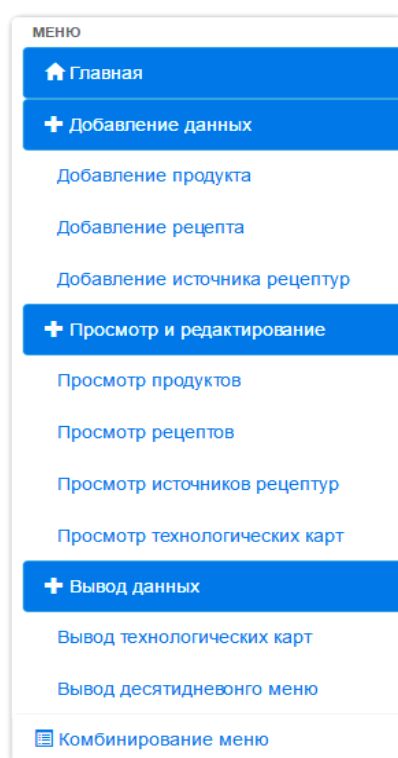
Преимущества данной автоматизированной информационной системы:

1. Интуитивно понятный графический интерфейс с логически выстроенной пошаговой работой;
2. Единая информационная система с широким функционалом и постоянным доступом к данным;
3. Гибкий алгоритм работы с базой данных;
4. Возможность вывода информации для печати и экспорта в форматы сторонних приложений;
5. Интеграция в большинство существующих операционных систем даже с минимальным предустановленным пакетом программного обеспечения;

6. Возможность использования системы на «слабых» компьютерах за счёт оптимизированности используемых языков программирования и дополнительных программных инструментов [2].

Прямой функциональный контакт системы и пользователя исключён, пользователь заполняет необходимые данные с помощью удобного графического интерфейса, а система, в свою очередь, структурирует информацию для хранения, производит дополнительную калькуляцию на основе введённых данных и, по запросу пользователя, обеспечивает автоматизацию комбинирования отчётных документов, а также их вывод на печать или экспорт для сторонних приложений. В качестве сторонних приложений использован предустановленный пакет офисных программ Microsoft Office. Данный подход обеспечивает максимально прозрачную и гибкую организацию базы данных для пользователя.

Пользовательский интерфейс стандартизирован и достаточно прост в использовании (рис. 1).



© Детский сад. Организация питания 2016

Рис. 1. Навигационное меню программного обеспечения «Детский сад. Организация питания»

Рассмотрим более подробно реализацию функционала «Просмотр рецептов». Для отображения данных о необходимом блюде следует выбрать соответствующую технологическую карту.

Список выбора рецептов представлен в виде пронумерованных технологических карт с пояснительным наименованием блюда. Выбрав необходимый пункт и нажав «Показать», мы открываем блок «Просмотр технологической карты», в котором отображена вся информация о выбранном блюде (рис. 2).

Детский сад. Организация питания

Главная / Выбор технологической карты

Выбор технологической карты:

Выберите технологическую карту: (Технологическая карта №14(Винегрет с растительным маслом)) [Показать]

Просмотр технологической карты

Технологическая карта №14
Наименование изделия: Винегрет с растительным маслом
Сборник рецептов: 178 блюд, мет. указания, Москва

Наименование сырья	Расход сырья и полуфабрикатов	
	Брутто, г	Нето, г
Картофель	46.00	32.00
Петрушка	1.00	0.74
Свекла	31.00	24.00
Горошек зеленый	18.00	14.00
Рыбные консервы в томатном соусе	6.00	5.00
Багеточки, весенне-летняя	5.00	5.00
Болышеголов	0.25	0.25
Миниог, казийская	11.00	7.00
Миниог, речная, весенняя	18.00	14.00
Выход		101.99

Химический состав данного блюда

Наименование сырья				Расход сырья и полуфабрикатов			Расход сырья и полуфабрикатов		
Бели, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энерг. ценность, ккал	Ca	Fe	B1	B2	C	
2.00	0.40	16.30	16.30						
3.70	0.40	7.60	7.60						
1.50	0.10	8.80	8.80						
5.00	0.20	8.30	8.30						
17.50	2.00	-	-						
17.30	7.90	-	-						
17.50	2.00	-	-						
17.50	2.00	-	-						
17.50	2.00	-	-						

Технология приготовления: Морковь, картофель, свеклу предварительно промывают, тщательно перебирают, очищают, повторно промывают в проточной питьевой воде небольшими партиями с использованием дрифта в течение 5 минут и варят в кожуре. Вареные, очищенные картофель, свеклу и морковь, а также очищенные соевые бобы нарезают ломтиками. Речной лук перебирают, очищают от кожуры, промывают, мелко шинкуют. Горошек зеленый консервированный промывают в отваре до впитывания, отвар сливают, горошек охлаждают. Приготовление: овощи соединяют, перед подачей заправляют соевым, растительным маслом и посыпают рубленой петрушкой.

© Детский сад. Организация питания 2016

Рис. 2. Окно «Просмотр рецептов» программного обеспечения «Детский сад. Организация питания»

Для просмотра существующих списков рецептов достаточно перейти в пункт «Просмотр источников рецептов» (рис. 3) раздела «Просмотр и редактирование». Окно представлено в виде таблицы с названиями источников рецептов в первом столбце и функцией удаления во втором.

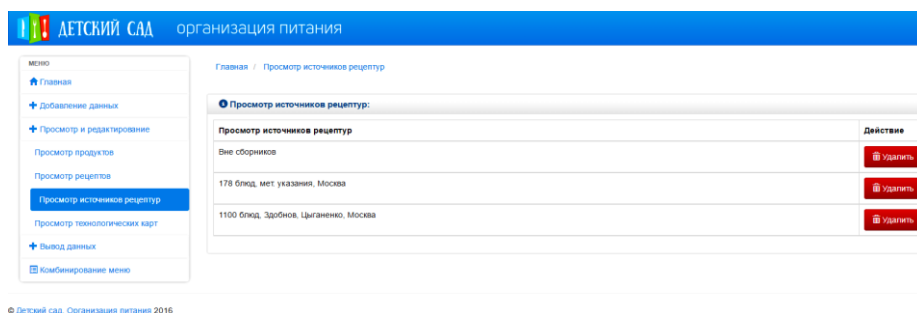


Рис. 3. Окно «Просмотр источников рецептов» программного обеспечения «Детский сад. Организация питания»

Категория «Вывод данных» отвечает за экспорт комбинированной информации в файлы сторонних приложений пакета MicrosoftOffice. «Вывод технологических карт» позволяет выбрать технологическую карту для экспорта, после чего необходимая информация размещается на печатном листе формата A4 приложения Microsoft Word (рис. 4).

Технологическая карта № 3

Наименование изделия: Вермишель отварная

Номер рецептуры:

Наименования сборника рецептур:

1. Азбука питания. Методические рекомендации по организации и контролю качества питания в дошкольных образовательных учреждениях. Составитель Н.А.Таргонская, – М.: ЛИНКА –ПРЕСС, 2002.
1. Наименование сборника рецептур: Организация детского питания в дошкольных учреждениях: Методические материалы / Под ред. И.Я.Ковя –М.: АРКТИ –МИПКРО, 2003.

Наименование сырья	Расход сырья и полуфабрикатов	
	1 порция	
	Брутто, г	Нетто, г
Вермишель	35	35
Масло сливочное	5	5
Выход	120г	

Химический состав данного блюда

Пищевые вещества				Минер. вещества, мг		Витамины, мг		
Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энерг. ценность, ккал	Ca	Fe	B1	B2	C
3,64	0,385	24,39	117,98					
0,02	4,12	0,04	37,4					

Технология приготовления:

Макаронные изделия (макароны, лапшу, вермишель и др.) варят в большом количестве кипящей подсоленной воды (на 1 кг макаронных изделий берут 6 л воды, 50 г соли). Макароны варят 20 – 30 минут, лапшу 20 – 25 минут, вермишель 10 – 12 минут. В процессе варки макаронные изделия набухают, впитывая воду, в результате чего масса их увеличивается примерно в 3 раза в зависимости от сорта.

Сваренные макаронные изделия откидывают и перемешивают с растопленным маслом, чтобы они не склеивались и не образовывали комков.

Рис. 4. Экспорт технологической карты в приложение Microsoft Word программного обеспечения «Детский сад. Организация питания»

Файл подготовлен к печати и соответствует постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 15.05.2013 № 26 «Об утверждении СанПиН 2.4.1.3049-13 „Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных организаций“».

Приложение запущено и протестировано в муниципальном бюджетном дошкольном образовательном учреждении «Детский сад № 16» города Биробиджана. Выпущена первая работоспособная версия программного обеспечения «Детский сад. Организация питания». Созданное приложение, оптимизирующее процессы организации питания, может быть использовано в различных дошкольных образовательных учреждениях г. Биробиджана и ЕАО. В дальнейшем планируется включение в клиентское приложение базы данных «Склад» для оптимизации процессов закупки продуктов, необходимых для комбинирования десятидневного меню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27.08.2015 г. № 41 «О внесении изменений в СанПиН 2.4.1.3049-13 „Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных организаций“» URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_185728/11f1b84632a6cdb6b6c6e1d38bbe8669c55aa6b4/ (дата обращения 17.03.2017).
2. Смирнова А. С., Чепулаев Н. В. Разработка клиентского приложения по комбинированию десятидневного меню для учреждений дошкольного образования // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/104TVN616.pdf> (дата обращения 17.03.2017).
3. Чепулаев Н. В., Смирнова А. С. Автоматизация питания в учреждениях дошкольного образования // Постулат. 2016. № 6. URL: <http://e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/view/146/151#> (дата обращения 17.03.2017).

* * *

Smirnova Anna S., Chepulaev Nikolai V.
CREATION OF A CLIENT SUPPLEMENT TO COMBINE THE MENU
FOR PRE-SCHOOL EDUCATION ESTABLISHMENTS
 (Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan;
 Company «DOMINO», Birobidzhan)

Nutrition is one of the main factors of the environment that determine the normal development of the child, influencing his life, growth, health. The menu consists of enumerating all the dishes that are included in the daily diet of the child. An obligatory condition in this case is the provision of the child with all food substances, depending on his age requirements. Control over the quality of the products received, their storage conditions and the timing of their implementation is carried out daily. All food products entering the children's institution are checked for compliance with the requirements of state standards.

The authors have presented the development of a web-based supplement that optimizes and automates the process of organization of nutrition, which performs the role of a database for long-term storage of information. The article points to the advantages of the created software "Kindergarten. Nutrition" that maintain routings and recipes of dishes, making up a plan-menu on a ten-days period in accordance with sanitary and epidemiological requirements, taking into

account the chemical content, vitamins, weight and cost of meals, intuitively perceived graphical interface with logically constructed turn-based work, the ability to integrate a client supplement in the majority of existing operating systems even with a minimum installed software package.

Keywords: preschool educational establishment; food; menu; sanitary and epidemiological standards; combining; automation; web-based supplement.

REFERENCES

1. Decision of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 41 of August 27, 2015 «On Amendments to SanPiN 2.4.1.3049-13 „Sanitary and epidemiological requirements for the organization, maintenance and organization of the mode of operation of pre-school educational organizations“», Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_185728/11f1b84632a6cdb6bc6ce1d38bbe8669c55aa6b4/ (accessed 17 March 2017) (In Russ.).
2. Smirnova A. S., Chepulaev N. V. Development of a client application for combining a ten-day menu for pre-school institutions [Razrabotka klientskogo prilozheniya po kombinirovaniyu desyatidnevnogo menju dlja uchrezhdenij doshkol'nogo obrazovaniya], *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2016, vol. 8, no. 6, Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/104TVN616.pdf> (accessed 17 March 2017).
3. Chepulaev N. V., Smirnova A. S. Automation of food in establishments of pre-school education [Avtomatizacija pitaniya v uchrezhdenijah doshkol'nogo obrazovaniya], *Postulat*, 2016, no. 6, Available at: <http://e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/view/146/151#> (accessed 17 March 2017).

* * *

СООБЩЕНИЯ

УДК 82.03

П. Н. Толстогузов

МУХА В ГОГОЛЕВСКОМ ТЕКСТЕ¹

Мотив «муха и сопутствующие ей ситуации» часто встречается в текстах Гоголя. Он сохраняет барочные импликации. Представляются интересными и нуждающимися в комментарии три ситуации: «мухи на сахаре», «муха в носу» и «мухи в жидкости» (все три ситуации рассматриваются на примере первого тома «Мёртвых душ»).

Ключевые слова: муха в фольклоре, муха в басне, барочный аллегоризм, натурализм, творчество Гоголя.

Муха занимает довольно заметное положение в мотивных комплексах Гоголя: она встречается если не повсеместно, то регулярно — и активно участвует в оформлении фона и даже в некоторых сюжетных предпосылках и напряжениях. Речь идёт не о фразеологической мухе (являющей собой, как правило, знак малости, а во вторую очередь — знак бойкости, быстроты и надоедливости), которая также есть у Гоголя, а о гоголевской мухе *in propria persona*, а также о её символическом метафоризме.

В тексте Гоголя присутствием мухи отмечены оконные стёкла и зеркала, рамы, картины, борщи, сахар, настойки и всякая иная еда и питьё. Муха садится на вымоченные в меду усы, залетает в рот, в уши, в глаза, в нос, принуждает к чиху и заставляет проснуться. Гоголевский герой может ненароком съесть её вместе со своей незамысловатой едой (Башмачкин). Она становится поводом для реплик, в которые характерно облекается фирменная пошлость пошлого человека: «Летом очень много мух,

Толстогузов Павел Николаевич — доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры филологии и журналистики (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: pnt59@mail.ru.

© Толстогузов П. Н., 2017

¹ Эта статья под названием «Муха как часть гоголевского текста» была впервые опубликована в сборнике научных трудов «Литературная классика: публикации, комментарии, отражения» (Уфа, 2012). Однако составитель и редактор сборника допустил неоправданные (и, как выяснилось позднее, неумышленные) сокращения текста статьи. В предлагаемом читателю журнала варианте эти лакуны (в частности, примечание 4) устранены, а также внесены существенные дополнения и исправления. Понятие «текст» в заглавии используется нами как определение совокупности текстов, принадлежащих одному автору и характеризующихся известной гомогенностью по отношению друг к другу.

сударыня!» (Шпонька [2: т. 1, с. 305]). Наконец, муха погибает под пальцами героя, не знающего, как скоротать время (Чичиков). И т. д.

В «Вечерах на хуторе близ Диканьки» и в «Миргороде» мухи, как правило, являются элементом деревенской и усадебной идиллии, но идиллии специфически гоголевской, то есть натуралистической и барочно-символической в одно время. В частности, они или, лучше сказать, те следы, которые они оставляют на предметах, знаменуют собой неторопливый ход бытового времени, одну из постоянных примет его внутреннего объёма, его однообразную и вместе с тем предельно ощутимую и потому внутренне эпохальную длительность, находящуюся в случайном, отчасти насмешливом отношении к большим историческим рядам: «Из узеньких рам глядела герцогиня Лавальер, запачканная мухами» («Старосветские помещики» [там же: т. 2, с. 17]).

Муха как натуралистическая деталь соответствует той эстетической концепции раннего, синтетического реализма первой половины XIX века, которую определяли как фламандщину, «фламандской школы пёстрый сор» (Пушкин [7: т. 5, с. 175]). Это выражение в случае с мухой обнаруживает дополнительный смысл: мухи были непременным атрибутом североевропейского натюрморта и в целом бытовой живописи эпохи барокко. Поскольку европейское изобразительное искусство конца XVI—XVII веков было по преимуществу барочным явлением, оно соединяло в себе подчёркнутое жизнеподобие и аллегоризм, восходящий к средневековым, но при этом по-барочному драматизированным значениям. Так, муха была не только пресловутым троплеем, но сама её обманчивость аллегорически перекликалась с её отрицательными смыслами: нечистота, близость к мёртвому или сладкому (отрицательный знак времени и грехопадения), пустая суетливость, кратковременность. Муху можно объединить с такими знаковыми моментами порчи, как червоточина: эти моменты подчёркивали не только реалистичность изображения, но и выражали излюбленный барочный мотив суеты сует. (На картине художника болонской школы Гверчино «И я нахожусь в Аркадии», первая четверть XVII века, муха соседствует с мышью и могильным червём — эсхатологическими символами порчи и смерти.) По мере ослабления аллегорических дифференциаций иносказательный аспект образа предельно обобщился: муха стала знаком прозаической действительности (ср. у Пушкина в «Евгении Онегине»: «Он в том покое поселился, / Где деревенский старожил / Лет сорок с ключницей бранился, / В окно смотрел и мух давил» [там же, с. 32]). При этом смысл порчи, например, также постепенно лишился эсхатологического оттенка и приобрёл сугубо прозаический и практический смысл (ср. опять же у Пушкина в «Маре Шонинг»: «Оставались непроданными два портретика в рамах, замаранных мухами и некогда вызолоченных» [там же: т. 6, с. 419]).

В басенной традиции XVII—XIX веков поведение мухи может обернуться нелепой заносчивостью и пустой хлопотливостью, а также траве-

стированными «премудростью» и «смелостью» (Лафонтен, Сумароков, Хемницер, Фонвизин, Дмитриев, Крылов). По большей части эти и другие басенные смыслы восходят к Эзопу, Федру и к пародийной «Похвале мухе» Лукиана, а также к фольклорным мотивам. Басенная муха, если суммировать её значения, сводится за несколькими исключениями к разнообразным случаям сопоставления малого и большого.

В гоголевском тексте, сохраняющем, как правило, барочные импликации, нам представляются интересными и нуждающимися в комментарии три ситуации: «мухи на сахаре», «муха в носу» и «мухи в жидкости» (все три ситуации рассматриваются на примере первого тома «Мёртвых душ»).

Мотив «мухи на сахаре» возникает в одном из тех сравнений, которые Константин Аксаков сопоставляет с эпическими сравнениями Гомера [1, с. 49]¹. Это «воздушные эскадры мух», слетевшиеся на сахар, который колет старуха-ключница. Специально этот случай Аксаков не сравнивает с Гомером, а стоило бы: в «Илиаде» дважды встречается развёрнутое сравнение скопления бойцов с мухами, слетевшими во время дойки на молоко (песнь II, ст. 469–473; песнь XVI, ст. 641–644). Милитаристский оттенок гоголевского сравнения, выраженный словом «эскадры», дополнительно сближает его с гомеровским контекстом, как и сам смысл сравнения: мухи слетаются на еду во время её приготовления. С другой стороны, и гомеровское, и гоголевское сравнения представляют собой частные случаи универсальной поговорки «слететься, как мухи на мёд». Но если фольклорный контекст в основном нейтрален, а гомеровский даже героичен², то гоголевский имеет усложнённое гротескное задание, восходящее к мотиву хвастливой мухи (например, в сюжете «муха и муравей/пчела» у Федра, Лафонтена, Тредиаковского, Крылова) и вносящее дополнительный смысл в предмет сравнения: гости на балу, как мухи на сахаре, присутствуют, «чтобы только показать себя» [2: т. 6, с. 14]. Басенный образ мухи мог выражать смысл времяпровождения в духе петиметров и макарони XVIII века и светских вертопрахов первой четверти XIX века: «За мною только лишь и дела, / Летать по балам, по гостям» (Крылов, «Муха и пчела» [5: т. 3, с. 159]). Чичиков деловой человек и умелый жулик, а не вертопрах, но его социальная мимикрия предполагает оказание «приятностей светского обращения» [2: т. 6, с. 47] в качестве ключевого приёма, и, следовательно, он также не в стороне от мушиной аллегории.

Пробуждение героя в доме Коробочки вызвано мухой, втянутой в нос и заставившей Чичикова «крепко чихнуть» [там же, с. 47]. Муха в носу в традиции принадлежит к демонологическому контексту (см.: [3, с. 435]). Это признак принадлежности к нечистой силе или, в более мягком варианте, признак человека со странностями (см.: [6]). Чичиков

¹ Интересно, что критик, сопоставляя Гоголя и Гомера, среди «предметов... являющихся с тайной своей жизни» называет и «муху, надоедающую Чичикову» [там же, с. 46].

² Лукиан, пусть и в смеховом ключе, справедливо обращает внимание на полную серьёзность гомеровских сравнений, связанных с мухами («Похвала мухе», с. 5).

предстаёт перед Коробочкой именно в этом качестве и к тому же поминает чёрта, сильно пугая при этом хозяйку. Кроме того, мухи, как бы подтверждая свою inferнальную репутацию, будят Чичикова именно в тот оказавшийся впоследствии роковым день, когда он сделал Коробочке своё фирменное коммерческое предложение о покупке мёртвых душ. (Так мухи реализуют характерную для них тему «малого, ничтожного, вредящего большому и значительному» [8].)

Явление мух в жидкости происходит у Плюшкина: войдя в дом скупца, Чичиков среди прочих живописных деталей беспорядка и разрухи видит «рюмку с какою-то жидкостью и тремя мухами, накрытую письмом» [2: т. 6, с. 115]. Затем, во время написания хозяином письма доверенному лицу, появляется «чернильница с какою-то заплесневшею жидкостью и множеством мух на дне» [там же, с. 127]. Мухи в жидкости, как и в других случаях, знаменуют порчу, но наиболее тесно, как представляется, они связаны в этом случае с ветхозаветным мотивом мёртвых мух в мироварнице: «Мухи умершие сгоняют елея сладость: честно малое мудрости паче славы велики безумия» (т. е. «Мёртвые мухи портят и делают зловонною благовонную масть мироварника: то же делает небольшая глупость уважаемого человека с его мудростью и честью»; Еккл. 10:1). Притчевый контекст соответствует биографии героя, чья мудрая скупость постепенно, путём переключения внимания на мелочи, на «бумажки и пёрышки» [2: т. 6, с. 119], перешла в безумное скопидомство¹. Святость жизни непоправимо испорчена «мелким взглядом» [там же] на вещи. С другой стороны, муха как жертва жидкости — это басенная жертва своей опрометчивости (от мух в меду у Эзопа до многочисленных вариаций этого мотива в более поздней традиции). Так же опрометчив Плюшкин, позволивший страсти скопидомства овладеть собой вполне.

Эти наблюдения не более чем попытка несколько расширить комментарий к предметному миру Гоголя и к традициям, которые были заложены этим писателем даже в предметных мелочах². Сама же попытка биографически связана с давним безотчётным ощущением того, что комнатная муха является неременной спутницей гоголевских книг в веках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксаков К. С. Несколько слов о поэме Гоголя «Мёртвые души» // Русская эстетика и критика 40—50-х годов XIX века. М.: Искусство, 1982. С. 42—53.
2. Гоголь Н. В. Полное собрание сочинений: в 14 т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937—1952.

¹ Том Крафт, убеждённый в том, что Гоголь интерьером плюшкинского дома травестирует интерьер и священные предметы православной церкви, соотносит мёртвых мух в жидкости (и в рюмке, и в чернильнице) с потиром, «в который крошатся частицы просфоры и мешаются с вином» [4, с. 102]. Сочувственно принимая мысль о травестии как об одном из ключевых гоголевских приёмов и столь же сочувственно разделяя мысль о нередком для Гоголя травестировании сакрального, мы всё же не можем не обратить внимание на сугубую предположительность таких наблюдений.

² Пример из «Отцов и детей», где идиллический старосветский мирок стариков Базаровых создан с использованием в том числе этой детали: «А что мух в этих милых домиках...»

3. Кабакова Г. И. Нос // Славянские древности. Этнолингвистический словарь: в 5 т. Т. 3. М.: Международные отношения, 2004. С. 435–436.
4. Крафт Т. Помещики в кривом зеркале гротеска – Плюшкин // *Slavica Tergestina*. Vol. 10. Литературоведение XXI века. Trieste, 2002. P. 93–106.
5. Крылов И. А. Полное собрание сочинений. В 3 т. М.: Гос. изд-во худож. лит., 1945–1946.
6. Мокиенко В. М., Никитина Т. Г. Большой словарь русских поговорок. М.: Олма Медия Групп, 2007 [Электронный документ] // URL: <http://enc-dic.com/russaying/Muha-41746.html> (обращение 25.06. 2012).
7. Пушкин А. С. Полное собрание сочинений. В 10 тт. Л.: Наука, 1977–1979.
8. Топоров В. Н. Муха // Мифы народов мира: Энциклопедия. В 2 т. Т. 2. М.: Советская энциклопедия, 1982. С. 188.

* * *

Tolstoguzov Pavel N.**THE FLY IN GOGOL'S TEXT**

(Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The motif of «the fly and its attendant situations» can often be found in Gogol's texts. It retains the Baroque implications. The following situations are interesting and in need of comments: «flies on sugar», «fly inside of the nose» and «flies in a fluid» (all the three situations are considered on the example of the first volume of «Dead Souls»).

Keywords: fly in folklore, fly in the fable, Baroque allegorism, naturalism, the work of Gogol.

REFERENCES

1. Aksakov K. S. Several Words about Gogol's Poem «Dead Souls» [Neskol'ko slov o pojeme Gogolja «Mjortvye dushi»], *Russkaja jestetika i kritika 40–50-h godov XIX veka*, (Russian aesthetics and criticism of the 40–50-ies XIX century), Moscow, Iskusstvo Publ., 1982, pp. 42–53.
2. Gogol N. V. *Polnoe sobranie sochinenij* (Complete works), in 14 vol. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1937–1952.
3. Kabakova G. I. Nose [Nos], *Slavjanskije drevnosti* (Slavic Antiquities), The Ethnolinguistic Dictionary in 5 vol, Vol. 3, Moscow, Mezhdunarodnye otnoshenia Publ., 2004, pp. 435–436.
4. Kraft T. Landowners in a Curve Mirror of Grotesque – Plyushkin [Pomeshhiki v krivom zerkale groteska – Pljushkin], *Slavica Tergestina*, 2002, vol. 10, Literary criticism of the 21st century, pp. 93–106.
5. Krylov I. A. *Polnoe sobranie sochinenij* (Complete works), in 3 vol. Moscow, Gos. izd-vo chudozh. lit., 1945–1946.
6. Mokiienko V. M., Nikitin T. G. *Bol'shoj slovar' russkih pogovorok* (Big Dictionary of the Russian Proverbs), Moscow, Olma Mediya Group, 2007, Available at: <http://enc-dic.com/russaying/Muha-41746.html> (accessed 25.06. 2012).
7. Pushkin A. S. *Polnoe sobranie sochinenij* (Complete works), in 10 vol. Leningrad, Nauka Publ., 1977–1979.
8. Toporov V. N. Fly [Muha], *Mify narodov mira* (Myths of People of the World), Encyclopedia, in 2 vol, vol. 2. Moscow, Sovetskaja encyclopedija Publ., 1982, p. 188.

* * *

Порядок публикации статей в журнале

1. Общие положения

1.1. Научно-образовательный журнал «Вестник Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема» (далее — Вестник, журнал) выходит четыре раза в год (один раз в квартал) и включает в себя следующие направления:

- 05.02.00 — Машиностроение и машиноведение;
- 05.13.00 — Информатика, вычислительная техника и управление;
- 10.01.00 — Литературоведение;
- 10.02.00 — Языкознание;
- 25.00.00 — Науки о Земле.

1.2. В редакционный совет Вестника принимаются к рассмотрению только оригинальные, ранее нигде не публиковавшиеся статьи на русском языке, имеющие авторскую справку и экспертное заключение о возможности опубликования.

1.3. Статьи, предлагаемые к публикации в журнале, проходят обязательное рецензирование и проверку на определение авторства и степени уникальности текста (от 75 % и выше) через поисковые системы интернета и программу «Антиплагиат» (с использованием установок «глубокая проверка»), а также обязательную выборочную редакторскую проверку текстов. Редакционный совет оставляет за собой право отклонить статью или вернуть её на доработку.

1.4. Принадлежность и объём авторских прав на публикуемые в журнале материалы определяются действующим законодательством Российской Федерации. Допускается распространение по электронным сетям любых статей журнала или выдержек из них с обязательной ссылкой на первоисточник. Запрещается издание материалов Вестника третьими лицами или организациями на бумажных и твердых электронных носителях без разрешения редакционного совета.

1.5. Каждый автор может быть автором или соавтором не более двух статей в одном номере Вестника. Количество статей одного автора, публикуемых в одном номере Вестника, может быть увеличено только по специальному решению редакционного совета.

1.6. Опубликование в Вестнике научных статей профессорско-преподавательского состава, аспирантов, соискателей университета производится бесплатно. Каждому автору выдается бесплатно один экземпляр Вестника с его статьёй. Авторские гонорары не выплачиваются. Рукописи и сопутствующие материалы не возвращаются.

1.7. Контрольные сроки представления статей в очередной номер:

№ 1 до 31 января; № 3 до 31 июля;
№ 2 до 30 апреля; № 4 до 31 октября.

1.8. Статьи, не удовлетворяющие требованиям к оформлению (см. п. 2), к публикации не принимаются и возвращаются авторам на доработку без их рассмотрения по существу.

2. Требования к оформлению статьи

2.1. Статья принимается в бумажном (1 экз.) и электронном виде. К статье прилагаются:

- экспертное заключение о возможности опубликования (прил. 1)¹;
- автором могут быть дополнительно представлены рецензия на статью и отчет программы «Антиплагиат» с результатами проверки;
- отзыв научного руководителя (для аспирантов).

2.2. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, подписи ставятся в конце рукописи.

2.3. Объем должен составлять от 4 до 16 страниц текста для статьи и от 2 до 4 страниц текста для сообщения, включая список литературы, таблицы и рисунки.

2.4. Обязательные элементы статьи:

- номер УДК (универсальный десятичный классификатор, располагается на первой странице в левом верхнем углу);
- информация об авторе (соавторах) на русском и английском языках: Фамилия Имя Отчество автора, учёная степень, учёное звание, место работы (полное название организации), должность, адрес с индексом, контактный телефон и адрес электронной почты;
- название статьи на русском и английском языках;
- аннотация на русском и английском языках;
- ключевые слова на русском и английском языках;
- текст статьи;
- пристатейные списки литературы на русском языке и латинице — References (в романском алфавите);
- рисунки, схемы и подрисуночные подписи к ним (на отдельных листах).

2.5. Рекомендации по содержанию английских текстов и транслитерации:

2.5.1. Фамилии авторов — транслитерируются:

- для автора важно выбрать один вариант написания фамилии и придерживаться его во всех статьях;
- использовать систему транслитерации (прил. 2);

Пример: Nikolaeva Valentina V.

¹ Порядок публикации статей в журнале с приложениями размещен на странице сайта Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема (<http://pgusa.ru/ru/vestnik/rules>)

2.5.2. Перевод названия организации.

Перевод — официальный вариант полного названия организации на английском языке (как в уставе):

- минимум: название организации, город, страна;
- аббревиатура нежелательна или в скобках после полного названия.

Пример: Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan, Russia.

2.5.3. Аннотация на английском языке к русскоязычной статье призвана выполнять функцию независимого от статьи источника информации. Она должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- оригинальной (не является буквальным переводом русскоязычной аннотации);
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- «англоязычной» (написанной качественным английским языком);
- компактной, но не короткой (в пределах от 150 до 250 слов).

2.5.4. Структуру и примеры оформления приставных списков литературы на латинице — References см. в прил. 3.

2.6. Технические требования к оформлению статьи:

- лист формата A4, книжная ориентация, страница с зеркальными полями;
- поля слева — 2,4 см, справа — 6,4 см, сверху — 2,4 см и снизу — 8 см;
- положение переплета слева;
- текст набран в редакторе MS Word;
- гарнитура шрифта Book Antiqua;
- межстрочный одинарный (1) интервал;
- размер шрифта основного текста 10 pt;
- размер шрифта обязательных элементов статьи (п. 2.4, кроме текста статьи) 8 pt.
- абзацный отступ 0,75 см;

2.7. Сокращения слов, кроме общепринятых или специально оговоренных автором, не допускаются.

2.8. Цитируемая литература приводится отдельным списком и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте оформляются квадратными скобками и содержат порядковый номер списка и страницы. Например, [25, с. 359]. Примеры затекстовых ссылок (приставных списков) см. в прил. 4.

2.9. Примечания оформляются в виде сносок с постраничной нумерацией.

2.10. Формулы нумеруются в круглых скобках.

2.11. Таблицы должны иметь заголовки и сквозную порядковую нумерацию в пределах статьи.

2.12. Весь иллюстративный материал (графики, схемы, фотографии, карты) именуется рисунками и имеет сквозную порядковую нумерацию. Количество таблиц и рисунков в статье — не более 6.

2.12.1. Рисунки в текст не вставляются, но в тексте даётся обозначение, где должен быть рисунок.

2.12.2. Рисунки выполняются в формате gif, tiff, jpeg, bmp, представляются в виде отдельных файлов и распечатываются на отдельных листах. Подписи к рисункам печатаются на отдельном листе.

2.13. Ответственность за содержание, соответствие языковым и литературным нормам представленных статей, а также за соблюдение авторского права при использовании иллюстративного и иного материала несёт автор статьи.

3. Организация рецензирования

3.1. Все научные статьи, поступившие в редакционный совет Вестника, подлежат обязательному рецензированию.

3.2. Главный редактор (зам. главного редактора), ответственный редактор выпуска, технический редактор издательства определяют соответствие статьи профилю журнала, требованиям к оформлению и направляют её на рецензирование.

3.3. Для проведения рецензирования рукописей статей в качестве рецензентов могут привлекаться как члены редакционного совета, так и высококвалифицированные учёные и специалисты Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема и других научных и образовательных учреждений (доктора наук, профессора или кандидаты наук, доценты), имеющие близкую к теме статьи научную специализацию. Рецензентом не может быть автор или соавтор рецензируемой работы.

3.4. Сроки рецензирования в каждом отдельном случае определяют ответственным редактором выпуска журнала.

3.5. Рецензирование проводится конфиденциально. Автору статьи предоставляется возможность ознакомиться с текстом рецензии.

3.6. Текст отрицательной рецензии направляется автору от имени редакционного совета Вестника.

3.7. Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается главным редактором или его заместителем.

3.8. После принятия редсоветом журнала решения о допуске статьи к публикации ответственный редактор выпуска или ответственный секретарь Вестника информируют об этом автора и указывают сроки публикации.

3.9. Оригиналы рецензий хранятся в редакции Вестника в течение 5 лет со дня публикации, копии рецензий направляются в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию журнала соответствующего запроса.

4. Требования к содержанию рецензии

4.1. Рецензия должна содержать квалифицированный анализ материала статьи, объективную и аргументированную его оценку и обоснованные рекомендации.

4.2. Рецензия должна содержать ФИО автора (ов) и название рецензируемой статьи, дату составления рецензии, подпись рецензента, сведения о рецензенте (ФИО, учёное звание и степень, место работы, должность).

4.3. В рецензии освещаются следующие вопросы: соответствует ли содержание статьи заявленной в названии теме и современным достижениям научно-теоретической мысли; доступна ли статья читателям, на которых она рассчитана, с точки зрения языка, стиля, расположения материала, наглядности таблиц, диаграмм, рисунков и формул; целесообразна ли публикация статьи с учётом ранее выпущенной по данному вопросу литературы; в чём конкретно заключаются положительные стороны, а также недостатки статьи, какие исправления и дополнения должны быть внесены автором.

4.4. В заключительной части рецензии должны содержаться выводы о статье в целом и чёткая рекомендация о целесообразности её издания в Вестнике (рекомендуется с учётом исправления отмеченных рецензентом недостатков или не рекомендуется к публикации в журнале) по конкретному научному направлению, соответствующему номенклатуре научных специальностей, утвержденных ВАК РФ.

Статьи принимаются по адресу

679015, г. Биробиджан, ул. Широкая, 70-А,
ПГУ им. Шолом-Алейхема, Издательский центр, 215 ауд.
тел. (42622)46369, факс (42622)46611, e-mail: bir. izdatel@gmail. com
(с пометкой «Статья в Вестник ПГУ им. Шолом-Алейхема»)

* * *

Внимание!

Подписку на журнал можно оформить в любом почтовом отделении.
Смотрите каталог Агентства «РОСПЕЧАТИ». Индекс подписки 25257.

Attention!

Subscription to the journal can be accepted at any post office.
See index of Post-Agency «ROSPECHAT». Number of subscription is 25257.