

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

№ 5 (665)
Май 2014 г.

Главный редактор В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.Л. Баладинский, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
П.А. Дмитриев, д-р техн. наук, проф.
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)
Е.М. Лобанов, д-р техн. наук, проф.
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Тел./факс +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 26.05.14. Формат 70×108 $\frac{1}{16}$
Усл. печ. л. 11,03+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 6206

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
КОНСТРУКЦИИ**

Дмитриев П.А., Михайленко О.А., Кондаков А.Г. О конструктивных мерах, повышающих сейсмостойкость малоэтажных зданий из цельной или массивной kleenой древесины 5

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Хархардин А.Н. Главные уровни дискретности вещества. Часть 4 13

Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С., Манохина Ю.В., Виталова Н.М. Математическое моделирование процессов коррозионной деструкции цементных бетонов, протекающих по механизму второго вида, при малых значениях числа Фурье ... 21

Рахимбаев Ш.М., Логвиненко А.А. Реологические свойства материалов для строительства объектов транспортной инфраструктуры 26

Абдрахимов В.З., Колпаков А.В. Использование кальцийсодержащих отходов: доломитовых выселков и известняковой муки в производстве кирпича 34

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Бодров В.И., Кучеренко М.Н., Сухов В.В. Интенсивность естественного воздухообмена в подземных пешеходных переходах 41

Гальперин Е.М. Еще раз о надежности функционирования водопроводной сети	49
Ким А.Н. Проблемы питьевого водоснабжения и пути их решения путем дообратки водопроводной воды у потребителя	56
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Гвоздев В.А., Канивец В.А. Принципиальная схема пневмоударного механизма дроссельно-бесклапанного типа и его физико-математическое описание	65
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Евграфова И.М., Лаврусевич А.А. Геоэкологическое обоснование использования мобильных энергетических установок	72
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Букреев В.И., Дегтярев-мл. В.В., Зыков В.В., Чеботников А.В. Методика измерения гидрофизических величин в пресной и соленой воде	77
Гилета В.П., Барис А.В. Цепная волновая передача	84
Столповский Г.А., Жаданов В.И., Аркаев М.А., Зиновьев В.Б. Особенности расстановки витых стержней в узловых сопряжениях деревянных конструкций	91
Потапов А.Д., Тупицына О.В., Сухоносова А.Н., Савельев А.А., Гришин Б.М., Чертес К.Л. Принципы управляемого восстановления территорий размещения отходов	98
Курбацкий Е.Н., Нгуен Чонг Там. Определение критических скоростей и критических сил при движении постоянной силы по балкам на упругом основании	109
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Степанова Л.Н., Курбатов А.Н., Тенитилов Е.С., Глухов Б.В. Влияние температуры на задержку времени распространения ультразвуковых волн в рельсе ...	118
<hr/>	
Памяти Петра Андреевича Дмитриева, выдающегося конструктора, ученого и педагога	125

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF CONSTRUCTION
HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**NEWS OF HIGHER
EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

CONSTRUCTION

**Scientific-theoretical journal
Published since March 1958
Monthly**

N 5 (665)
May 2014

Editor-in-Chief V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,
Honour. Mem. RAACS

Editorial Board:

- A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.L. Baladinsky, DSc (Eng), Prof.
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
P.A. Dmitriev, DSc (Eng), Prof.
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
Ye.M. Lobanov, DSc (Eng), Prof.
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS
Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008
Phone number/fax +7 (383) 266 28 59
 www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS

- Dmitriev P.A., Mikhai-
lenko O.A., Kondakov A.G.** About constructive measures
that increase the earthquake
resistance of low-rise buildings
made of solid or massive wood 5

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Kharkhardin A.N.** Basic
discreteness level of matter.
Part 4 13

- Fedosov S.V., Rumyantse-
va V.E., Kasyanenko N.S.,
Manokhina Yu.V., Vitalo-
va N.M.** Mathematical model-
ing of cement concrete corro-
sion destruction proceeding via
the second kind mechanism at
small values of fourier number 21

- Rakhimbaev S.M., Logvi-
nenko A.A.** Rheological
properties of materials for
transport infrastructural
construction 26

- Abdrakhimov V.Z., Kol-
pakov A.V.** Use of calci-
um-waste: dolomite screen-
ings and lime dust in bricks
production 34

SANITARY ENGINEERING

- Bodrov V.I., Kucher-
ko M.N., Sukhov V.V.** In-
tensity of natural air exchan-
ge in underground cros-
swalks 41

- Galperin E.M.** Once again
about the reliability of
functioning water network 49

Kim A.N. Problems of drinking water supply and way of their decision by processing of tap water at the consumer	56
BUILDING AND ROAD MACHINES	
Abramenkov D.E., Abramenkov E.A., Gvozdev V.A., Kanivets V.A. Schematic diagram of pneumoshock mechanism throttle-valveless type and physical mathematical description	65
SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY	
Evgrafova I.M., Lavrusevich A.A. Rationale for use geoecological mobile power plants	72
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Bukreev V.I., Degtyarev-youn. V.V., Zykov V.V., Chebotnikov A.V. Methods of measurement of hydro-physical values in both fresh and salt water	77
Gileta V.P., Baris A.V. The chain of wave drive	84
Stolpovsky G.A., Zhadanov V.I., Arkaev M.A., Zinov'yev V.B. Features of twisted rod arrangement in nodal interfaces of wooden constructions	91
Potapov A.D., Tupitsyna O.V., Sukhonosova A.N., Savelyev A.A., Grishin B.M., Chertes K.L. The principles of operated restitution of waste disposal territories ..	98
Kurbatsky E.N., Nguyen Chong Tam. Determination of critical speeds and critical forces in constant force movement along beams on elastic foundation	109
IN HIGHER SCHOOL LABS	
Stepanova L.N., Kurbatov A.N., Tenitilov E.S., Glukhov B.V. Effects of temperature on the delay time of ultrasonic wave in the rail	118
<hr/>	
Petr Andreevich Dmitriev's memory, outstanding designer, scientist and teacher	125

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.011.2

[П.А. ДМИТРИЕВ], О.А. МИХАЙЛЕНКО, А.Г. КОНДАКОВ

О КОНСТРУКТИВНЫХ МЕРАХ, ПОВЫШАЮЩИХ СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ ЦЕЛЬНОЙ ИЛИ МАССИВНОЙ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Рассмотрены конструктивные приемы по повышению сейсмостойкости малоэтажных деревянных зданий, возводимых из цельных элементов (бревна, брусья), а также из клееной древесины.

Ключевые слова: сейсмостойкое строительство зданий, конструкции малоэтажных зданий, рубленые здания, здания из клееной древесины.

Как известно, деревянные рубленые здания традиционной конструкции обладают повышенной сейсмостойкостью в сравнении с аналогичными кирпичными, панельными, саманными и т.п. Это достоинство рубленых зданий является следствием надежной работы при сейсмических толчках сопряжений бревен (брюсьев) в углах зданий и в примыканиях их внутренних стен к наружным, частого расположения внутренних стен, обычно крестообразных в плане, постановки двухсторонних сжимов по всей высоте наружных стен, используемых приемов обеспечения несмещаемости венцов в поперечном направлении при сплачивании их по длине: на пазах (оцилиндрованные бревна), шкантах, штырях, или с помощью другого механического крепежа, а также скрепления стен с балочными перекрытиями, образующими в своей плоскости жесткие диски.

Сейсмостойкость таких зданий повышается при возведении над ними крыш преимущественно простейших конфигураций по надежно пространственно раскрепленным стропильным конструкциям.

Эти конструктивные особенности обеспечивают, как свидетельствует практика, безопасное проживание людей в одно-, двухэтажных рубленых домах при землетрясениях до четырех баллов (включительно).

Землетрясения большей балльности выявили недостаточность этих конструктивных мероприятий. При землетрясениях в пять и шесть баллов растрескивается, отслаивается и обрушается очагами штукатурка потолков и стен, повреждаются кровли из штучных хрупких материалов, разрушаются кирпичные трубы печей отопления и брандмауэры. При еще более высокой сейсмичности расстраиваются соединения элементов стропильных конструкций, смешаются их подкосы во врубках, стойки и

прогоны с опор, от скальвания древесины разрушаются опорные узлы стропильных ног и подобных им элементов. Эти отказы соединений и элементов, проявляющиеся в результате развития упомянутых деформаций, носят внезапный характер, что увеличивает динамическое воздействие на разрушающиеся конструкции.

Кроме того, при сильных сейсмических воздействиях узкие простенки выпучиваются из плоскости стен, шканты верхних венцов вырываются из гнезд и обычно не возвращаются в них, что приводит к образованию сквозных трещин между венцами, искажаются оконные и дверные про-



Рис. 1. Деформации контрфорса наружной продольной стены двухэтажного здания средней школы (с. Мухор-Тархата, Республика Алтай)

ных стропильных конструкций, например, обойтись без наслонных стропил и сплошных настилов по ним, использовав взамен легкие стальные профилированные листы по ГОСТ 24045–94 (рис. 2).

Кроме этого рис. 2 иллюстрирует еще один конструктивный прием, увеличивающий сейсмостойкость рассматриваемых зданий. Максимально облегченная крыша оперта на отдельно поставленные по периметру здания стойки, жестко защемленные внизу, связанные с обвязками поверху, замкнутые по углам в горизонтальную раму. Стойки служат при сейсмических толчках маятниковыми демпферами. Качаясь, стойки воз действуют на стены в углах и в примыканиях внутренних стен к наружным через резиновые прокладки-демпферы, смягчающие эти воздействия. Конечно, такой конструктивный прием требует соответствующего расчета.

В перекрытиях и перегородках зданий надлежит использовать только легкие современные утеплители и звукоизолирующие плитные и рулон-

ные, разрушающееся остекление оконных переплетов и заклиниваются двери в дверных коробках. Наблюдались также отказы рубленых контрфорсов, возводимых для устойчивости высоких (двухэтажных) стен (рис. 1). Разрушаются традиционные ленточные фундаменты, что может сопровождаться смещением стен и искажением плана помещений.

Все вышеперечисленное, очевидно, требует дополнительных мер, повышающих сейсмостойкость зданий. Во-первых, это применение специальных конструктивных решений и приемов, а во-вторых, — минимизация собственной массы конструкций зданий (сооружений) для уменьшения инерционных эффектов от сейсмических воздействий.

С учетом вышеизложенного следует отказаться от традицион-

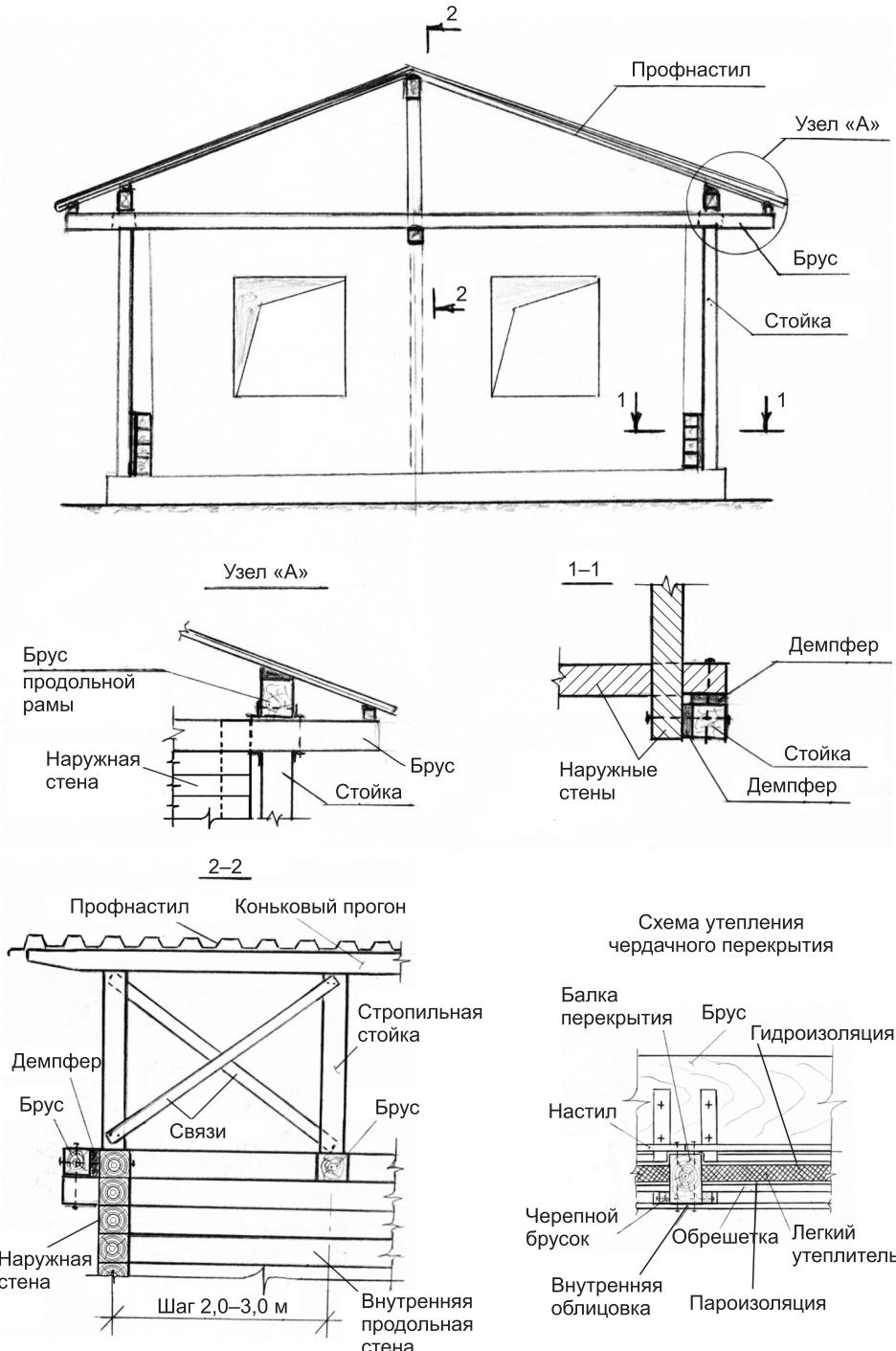


Рис. 2. Конструкция одноэтажного рубленого здания с облегченной крышей, опретой на отдельно поставленные по периметру стойки

ные материалы (пенопласты и поропласты, сотовые изделия и т.п.). При отделке внутренних помещений следует использовать большеразмерные листовые материалы: фанеру, древесно-волокнистые плиты, картон с заранее обработанными лицевыми поверхностями, высококачественную

рейку и т.п. Недопустимо применение для этой цели мокрых штукатурок или штучных хрупких материалов.

В стенах здания взамен традиционных шкантов можно рекомендовать установку вертикальных стальных штырей по схеме рис. 3 с повышенным сопротивлением при выдергивании (винтовых или с тем или иным завершением). Чтобы предупредить выпучивание простенков из плоскости стены, их следует снабдить стальными тягами, пропущенными в отверстия в венцах по всей высоте и закрепленными внизу и вверху с постановкой на верхнем венце пружинного (или иного) демпфера, шайбы

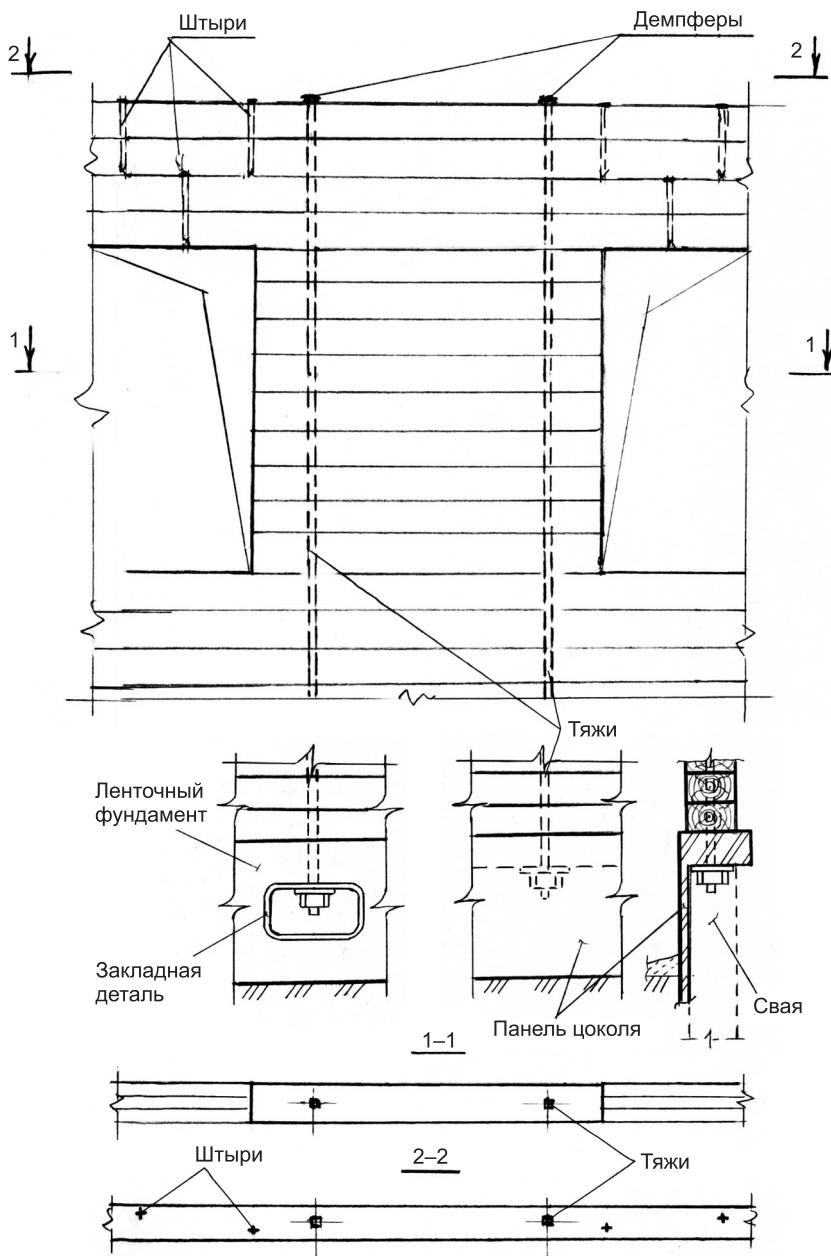


Рис. 3. Устройство в стенах здания вертикальных стальных штырей и снабжение простенков стальными тягами с демпферами

и гайки (см. рис. 3). Такие тяги следует размещать и по углам помещений с высокими стенами (спортивные и зрелищные здания, торговые предприятия и им подобные), а также по углам двухэтажных помещений. По верху перекрытий над зальными помещениями целесообразно устраивать связи, обеспечивающие неизменяемость контура стен в плане, например, крестовые из тяжей от угла до угла или иные.

Высокие стены необходимо укреплять сжимами, которые могут быть использованы как стойки, жестко защемленные в фундаментах и несущие поперечные конструкции покрытия. Эти сжимы целесообразно использовать и как пояса контрфорсов при необходимости их устройства.

Снижение массы наружных стенных конструкций можно получить, используя в них бревна (брюсья) минимальных сечений, что, как правило, потребует их утепления и устройства внешних обшивок. Применение таких трехслойных стен вряд ли целесообразно по крайней мере при возведении новых зданий.

С упомянутой выше целью представляется вполне оправданным применение в облегченных стенных конструкциях дощатоклееных блоков толщиной не менее 100 мм, утепленных высокоэффективным утеплителем, с наружными обшивками из сайдинга, реек или большеразмерных дощатых щитов [1]. Такая стенная конструкция состоит из дощатоклееных блоков, скрепленных вертикальными брусками цельного или составного сечения, несущих обшивку. Между блоками и обшивкой располагается высокоэффективный плитный, рулонный или заливочный утеплитель.

Особенностью предлагаемой стенной конструкции являются нетрадиционные угловые сопряжения и примыкания внутренних стен к наружным, выполняемые из дощатоклееных блоков, имеющих соответственно Г-образное или Т-образное очертание в плане, с вертикальными пазами для скрепления с соседними блоками, снабженными гребнями. Изгибная жесткость этих фигурных блоков обеспечивает устойчивость стенной конструкции при монтаже и сейсмических воздействиях.

Под сравнительно легкие деревянные здания, как правило, устраивают и легкие фундаменты. Для зданий в сейсмически опасных районах необходимы фундаменты с повышенной прочностью, но при этом легкие, амортизирующие сейсмические толчки, например, фундаменты, образованные короткими сваями, поставленными по осям наружных и внутренних стен в выверленные в грунте гнезда, засыпаемые землей. Цокольные части такого свайного фундамента, показанного на рис. 4, состоят из Г-образных железобетонных плит, надежно скрепленных друг с другом и со сваями, образующих рамную конструкцию, жесткую в вертикальном и горизонтальном направлениях. При этом фундаменты под поперечные стены выполняют так, что они служат диафрагмами для фундаментов под наружные стены.

Для районов с землетрясениями высокой балльности можно рекомендовать устройство вокруг зданий внешней защиты, смягчающей сейсмические толчки, например, выкапывая вокруг каждого из них замкнутую в плане, узкую траншею, заполняемую каким-либо рыхлым материалом (шлак, керамзит; пригодятся для этого и утилизируемые покрышки,

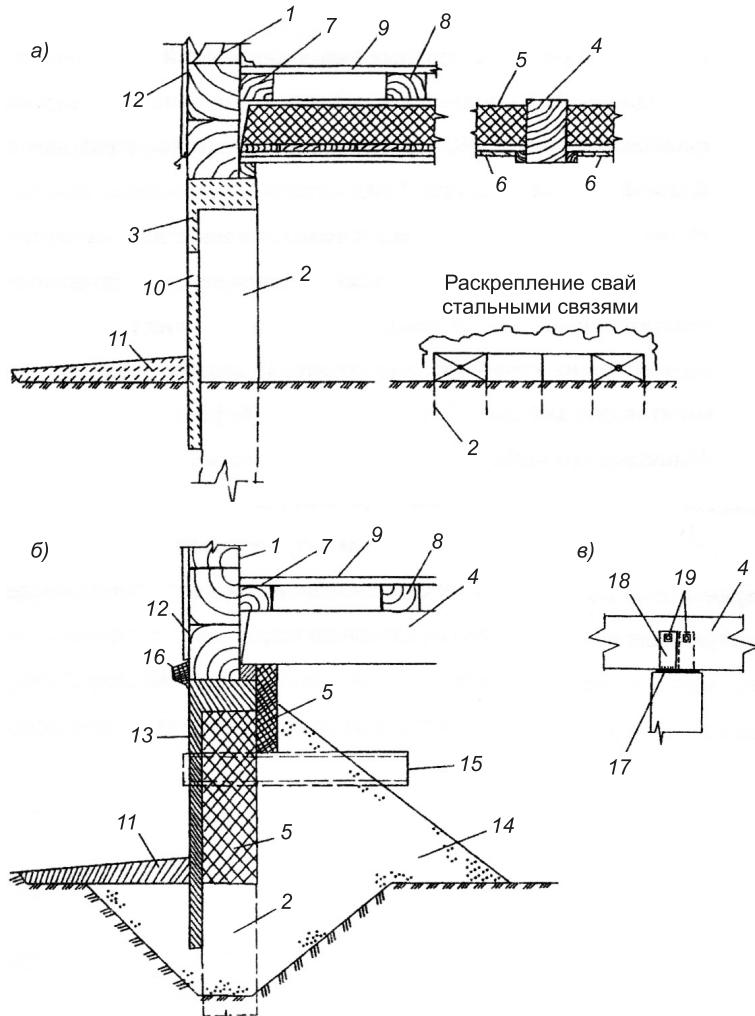


Рис. 4. Вариант опирания здания, возводимого в районах с умеренным и суровым климатом (а) и в районах с короткой, мягкой зимой (б), опирание балок перекрытия на железобетонные сваи (в)

1 — брускатая стена; 2 — железобетонные сваи; 3 — железобетонные плиты цоколя, устанавливаемые на сваи; 4 — балка; 5 — утеплитель; 6 — щиты наката; 7 — пристенная лага; 8 — лаги, уложенные под углом к балкам 4; 9 — пол; 10 — отверстия (продухи); 11 — отмостка; 12 — обшивка; 13 — керамзитобетонные панели цоколя; 14 — отсыпка; 15 — асбестоцементная труба для проветривания подполья в летний период; 16 — утепленный слив; 17 — закладная деталь на торце сваи; 18 — полосовая сталь с отверстиями для болта; 19 — болт

поставленные вертикально и засыпанные грунтом). Глубина траншеи при этом должна быть больше заложения фундаментов, конечно при соответствующем расчетном обосновании и обеспечении устойчивости в горизонтальном направлении (например, можно устроить боковую опору грунта в виде шпунтового ограждения).

Наряду с вышеперечисленными, известны и другие эффективные способы защиты зданий, смягчающие воздействия на них сейсмических толчков [2–4].

Следует отметить, что предлагаемые в статье конструктивные приемы не освобождают проектировщика от необходимости проведения расчетов зданий на сейсмические воздействия с учетом вышеотмеченных особенностей (например, наличия демпферов) и в соответствии с правилами¹.

В заключение заметим, что расходы, связанные с реализацией большинства вышеизложенных рекомендаций, несопоставимы с материальными и горькими людскими потерями, которые часто несут при землетрясениях пренебрегающие ими владельцы строящихся зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2499106 RU, Е 04B 2/70. Стеновая конструкция [Текст] / П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов, Д.А. Украинченко, И.С. Инжутов; заявл. 26.04.2012; Опубл. 20.11.2013; Бюл. № 32.
2. Дмитриев, П.А. Башни. Мачты. Безметальные конструкции. Леса и подмости. Опоры воздушных ЛЭП. Сейсмостойкие здания и сооружения: монография [Текст] / П.А. Дмитриев. — Красноярск : КрасГАСА, 2006. — 170 с.
3. Шишков, Ю.А. Опыт проектирования сейсмостойких зданий и сооружений в Республике Алтай [Текст] / Ю.А. Шишков, В.И. Грохотов // Проектирование и строительство в Сибири. — 2004. — № 5. — С. 22–28.
4. Абовский, Н.П. Современное состояние развития сейсмостойкого строительства. Обзор литературы и патентные предложения кафедры СМиУК КрасГАСА [Текст] / Н.П. Абовский, А.С. Темерова. — Красноярск : КрасГАСА, 2005. — 87 с.

ДМИТРИЕВ Петр Андреевич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МИХАЙЛЕНКО Олег Анатольевич, канд. техн. наук

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Рубцовск

КОНДАКОВ Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, доц.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено после доработки 03.04.14

Dmitriev Petr Andreevich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Mikhailenko Oleg Anatolyevich, candidate of technical sciences, Altay State Technical University named after I.I. Polzunov, Rubtsovsk, Russia

Kondakov Alexander Gennadievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

ABOUT CONSTRUCTIVE MEASURES THAT INCREASE THE EARTHQUAKE RESISTANCE OF LOW-RISE BUILDINGS MADE OF SOLID OR MASSIVE WOOD

Constructive methods for improving seismic resistance of low-rise wooden buildings, constructed of solid elements (logs, beams) as well as from glued wood.

Key words: seismic resistant construction of buildings, construction of low-rise buildings, chopped building, a building from glued wood.

¹ СП 14.13330-2011. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М., 2011.

REFERENCES

1. Pat. 2499106 EN, E V 2/70. Wall construction [Text] / P.A. Dmitriev, V.I. Zhadanov, D.A. Ukrainianchenko, I.S. Inzhutov; claimed 26.04.2012; publ. 20.11.2013; Bull. N 32.
 2. Dmitriev, P.A. Tower. Mast. Construction without metal. Working scaffolds and trestle scaffold. Overhead power lines. Earthquake-resistant buildings and structures: monograph [Text] / P.A. Dmitriev. — Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Architectural-Construction Academy, 2006. — 170 p.
 3. Shishkov, Yu.A. Experience in the design of earthquake-resistant buildings and structures in the Republic of Altai [Text] / Yu.A. Shishkov, V.I. Grokhov / / Design and construction in Siberia. — 2004. — N 5. — P. 22–28.
 4. Abovsky, N.P. Current state of development of earthquake engineering. Review of literature and patent proposals of the Department SMaCS KrasSACA [Text] / N.P. Abovsky, A.S. Temerova. — Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Architectural-Construction Academy, 2005. — 87 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.001

А.Н. ХАРХАРДИН

ГЛАВНЫЕ УРОВНИ ДИСКРЕТНОСТИ ВЕЩЕСТВА Часть 4¹⁻³

Приводится расчет критических размеров кластеров, нано- и микрочастиц по критической плотности их упаковки, имеющих место при сухом и мокром способах измельчения минерального сырья, а также главных уровней дискретности простых веществ.

Ключевые слова: дисперсные и кристаллические вещества, кластеры, нано- и микрочастицы, критический размер.

Ранее в работе [1] из закономерности распределения частиц по относительным размерам при высокоплотной случайной упаковке в полидисперсной смеси получены уравнения для расчета критических размеров микрочастиц и агрегаций, образуемых в процессе сухого механического измельчения минерального сырья. При мокром способе его предельного измельчения установлена вторая критическая плотность упаковки микро- и наночастиц, позволяющая определить их критический размер и размер кристаллических образований сферической формы [2]. Полученные уравнения при использовании первой и второй критической плотности упаковки частиц можно преобразовать к виду:

$$D = (60,38\eta_{c1})^n d / \eta_1^{1/9} = (60,38\eta_1^{n''})^n d / \eta_1^{1/9}; \quad (1)$$

$$D = (60,38\eta_{c2})^n d / \eta_1^{1/9} = (60,38\eta_1^{n''})^n d / \eta_1^{1/9}; \quad (2)$$

$$D \leq (3,923\eta_1)^n d / \eta_1^{1/9}, \quad (3)$$

где η_{c1} , η_{c2} — первая и вторая критические плотности упаковки элементов дискретности вещества [1]: $\eta_{c1} = \eta_1^{(9...10...10,5)/3}$ — для случайных упаковок, где $0,60377 \leq \eta_1 \leq 0,64976$;

¹ См.: Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И. Принципы атомной упаковки кластеров и топологические состояния поверхностных слоев безлигандных нано- и микрочастиц. Часть 1 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 2. С. 5–10.

² См.: Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И. Вывод уравнений для критических размеров кластеров, нано- и микрочастиц. Часть 2 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 3. С. 14–21.

³ См.: Хархардин А.Н. Математические модели вложения и разбиения образований на элементы дискретности вещества. Часть 3 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 4. С. 23–29.

$\eta_{c1} = \eta_1^{(11,5...12,4...15)/3}$ — для регулярных укладок, где $\eta_1 \leq 0,6802$;
 $\eta_1 \leq 0,68834$; $\eta_1 \leq 0,6981$; $\eta_1 \leq 0,7405$;

d , η_1 — размер и плотность упаковки первичных элементов дискретности вещества (атома);

$\eta_s \approx \eta_1^{1/9}$ — поправка, учитывающая увеличение плотности упаковки атомов в поверхности поперечного сечения межатомных слоев [1].

Полученное выражение (3) при $n = 3$ преобразуем к частному и общему виду для расчета наибольших для уровней дискретности вещества критических размеров растущих ($n = 0, 1, 2, 3\dots$) сферических наночастиц и их агрегаций:

$$D \leq (3,923\eta_1)^n d / \eta_1^{1/9} = 60,38 \eta_1^3 d / \eta_1^{1/9} = (60,38\eta_1)^n d / \eta_1^{1/9}. \quad (4)$$

Первым признаком формирования топологических структур дискретных систем (вещества) является нарушение однородности с образованием флуктуаций плотности в жидкой фазе и развитие структур при ее затвердевании от кластерных образований до микро- и макрочастиц, кристаллических блоков, либо при измельчении до различного уровня дискретности вещества [3, 4]. Найдем коэффициенты при η_1 для каждого уровня дискретности ($n = 1\dots3, 6, 9, 12, 15\dots$) вещества из выражения (3), записанного для наибольших их размеров в виде прямой пропорциональности от η_1 при $\eta_s = 1$:

$$\begin{aligned} D = 3,923^n \eta_1 d &= \mathbf{3,923} \eta_1 d \dots 15,39 \eta_1 d \dots \mathbf{60,38} \eta_1 d \dots \\ &\dots 237 \eta_1 d \dots 929 \eta_1 d \dots \mathbf{3645} \eta_1 d \dots \mathbf{220096} \eta_1 d \dots \\ &\dots \mathbf{13288748} \eta_1 d \dots \mathbf{802333778} \eta_1 d \dots \end{aligned}$$

Наибольшие критические размеры растущих атомных образований для каждого уровня дискретности вещества с плотнейшей упаковкой в них атомов ($\eta_1 = 0,7405$) будут равны:

$$\begin{aligned} D &= \mathbf{2,9} d \dots 11,4 d \dots \mathbf{44,7} d \dots 175,4 d \dots 688 d \dots 2699 d \dots \\ &\dots 162977 d \dots 9840059 d \dots 594112517 d \dots \end{aligned}$$

С учетом поправки $\eta_s \approx \eta_1^{1/9}$:

$$\begin{aligned} D &= \mathbf{3} d \dots 11,79 d \dots \mathbf{46,2} d \dots 181,5 d \dots 711 d \dots 2790 d \dots \\ &\dots 168510 d \dots 10174370 d \dots 614281149 d \dots \end{aligned}$$

При $d = 0,3$ нм получим наибольшие критические размеры нано- и макрочастиц для каждого уровня дискретности вещества соответственно:

$$\begin{aligned} D &= \mathbf{0,87} \text{ нм}; 3,4 \text{ нм}; \mathbf{13,4} \text{ нм}; 52,6 \text{ нм}; \\ &206 \text{ нм}; 810 \text{ нм}; 48,9 \text{ мкм}; 2,95 \text{ мм}; 17,8 \text{ см}; \\ D &= \mathbf{0,9} \text{ нм}; 3,5 \text{ нм}; \mathbf{13,9} \text{ нм}; 54,4 \text{ нм}; 213 \text{ нм}; \\ &837 \text{ нм}; 50 \text{ мкм}; 3,05 \text{ мм}; 18,4 \text{ см} \dots \end{aligned}$$

Следовательно, размеры наиболее устойчивых кристаллических образований (блоков), состоящих из атомов и не имеющих границ раздела в массивном теле, находятся в пределах 13,4 нм — 3 мм, где $n \leq 12$. Кри-

тические размеры наночастиц выделены жирным шрифтом, а с необычным проявлением изменения их свойств со значением $n \leq 3$.

Наименьшие критические размеры нано- и микрочастиц для каждого уровня дискретности растущих атомных образований, в том числе и в массивном теле без границ раздела между ними и разрыва его сплошности, получим из выражения (3) при $\eta_s = 1$:

$$\begin{aligned} D = & (3,923\eta_1)^n d = \mathbf{3,92} \eta_1 d \dots 15,39 \eta_1^2 d \dots \mathbf{60,38} \eta_1^3 d \dots \\ & \dots 237 \eta_1^4 d \dots 929 \eta_1^5 d \dots \mathbf{3645} \eta_1^6 d \dots \\ & \dots \mathbf{220096} \eta_1^9 d \dots \mathbf{13288748} \eta_1^{12} d \dots \mathbf{802333778} \eta_1^{15} d \dots \end{aligned}$$

Отсюда при $\eta_1 = 0,7405$ и $d = 0,3$ нм соответственно:

$$\begin{aligned} D = & \mathbf{2,9} d \dots 8,4 d \dots \mathbf{24,5} d \dots 71 d \dots 207 d \dots \mathbf{601} d \dots \\ & \dots \mathbf{14731} d \dots \mathbf{361117} d \dots \mathbf{8852368} d \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D = & \mathbf{0,87} \text{ нм} \dots 2,5 \text{ нм} \dots \mathbf{7,4} \text{ нм} \dots 21,4 \text{ нм} \dots 62 \text{ нм} \dots \mathbf{180} \text{ нм} \dots \mathbf{4,42} \text{ мкм} \dots \\ & \dots \mathbf{0,108} \text{ мм} \dots \mathbf{2,69} \text{ мм} \dots \end{aligned}$$

Вычисления с учетом $\eta_s \approx \eta_1^{1/9}$ дают следующий ряд этих значений:

$$\begin{aligned} D = & \mathbf{0,90} \text{ нм} \dots 2,62 \text{ нм} \dots \mathbf{7,6} \text{ нм} \dots 22,1 \text{ нм} \dots 64 \text{ нм} \dots \mathbf{186} \text{ нм} \dots \mathbf{4,57} \text{ мкм} \dots \\ & \dots \mathbf{0,112} \text{ мм} \dots \mathbf{2,78} \text{ мм} \dots \end{aligned}$$

При увеличении показателя степени $n \geq 15$ в выражении (3) возможен дальнейший рост в природных или искусственных условиях кристаллов сферической либо ограненной формы до равновесного размера.

Критические размеры атомных сферических образований, в том числе и наночастиц, проявляющих необычные изменения физических свойств и не имеющих границ раздела, а также с границей раздела между ними в твердой, кристаллической фазе, получим при последовательном многоступенчатом вложении типа «кластеры в кластере» из выражения (1), записанного в виде:

$$D = (60,38\eta_{c1})^n \eta_{c1}^{n-1} \eta_1^k d / \eta_2^{1/9}; \quad (5a)$$

$$D = (60,38\eta_{c1})^n 60,38\eta_{c1}^{n-1} \eta_1^k d / \eta_2^{1/9}; \quad (5b)$$

$$D = (60,38\eta_i^{(10\dots15)/3})^n \eta_{c1}^{n-1} \eta_1^k 60,38\eta_2^{(10\dots15)/3} \eta_2^k d / \eta_2^{1/9}; \quad (6a)$$

$$D = (60,38\eta_i^{(10\dots15)/3})^n \eta_1^k 60,38\eta_2^{(10\dots15)/3} \eta_2^k d / \eta_2^{1/9}, \quad (6b)$$

где $n = 1, 2, (3)$ — ступенчатость кластерных образований;
 d — размер первичного элемента дискретности вещества (атома, молекулы, кластера);

$k = 0$ — рост и слияние кластеров, наночастиц в кристаллическую фазу без границы раздела между ними;

$k = 1$ — разъединение кластеров с границей раздела между ними с систематической (регулярной) их укладкой — $\eta_i^k = \eta_1^k = 0,7405\dots0,6802$;

$\eta_i^k = \eta_2 = 0,64976, 0,6403...0,6038$ — с произвольной по принципу случайной упаковки;

$$\eta_{ci} = \eta_1^{n'} = \eta_2^{n'} = \eta_i^{n'}, \text{ при } k = 0 \quad \eta_i^k = 1, \text{ при } k = 1 \quad \eta_i^k = \eta_i.$$

Здесь и далее опускается делитель η_s .

Для произвольной (случайной) упаковки элементов дискретности вещества — $\eta_{c1} = \eta_i^{(9...10,5)/3}$, где показатель степени $9/3 = 3$ указывает на отсутствие пристеночного влияния, а $(10...10,5)/3$ — определяет первую критическую плотность упаковки частиц при $\eta_1 = 0,64029...0,64976$ соответственно. Для систематических (регулярных) укладок элементов дискретности вещества $\eta_{c1} = \eta_i^{n'}$, где показатели степени $n' = (11...12...15)/3$ определяют также первую критическую плотность их упаковки при $\eta_1 = 0,6802...0,68834...0,6981...0,7405$, а отсутствие пристеночного влияния определяется показателем степени $n' = (9...10)/3$ [1].

Так при одно- и двухступенчатом вложении атомов в кластеры, кластеров в блоки с плотностью их упаковки $\eta_1 = \eta_2 = 0,7405$ при $n = 1$ и $n = 2$ в кристаллических образованиях, при $n = 1 \cdot 1$ и $\eta_2 \leq 0,64029(0,64976)$ — со случайной их упаковкой, с границей и без границы раздела между кластерами и блоками, из выражений (1), (6) получим соответственно:

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 0,3 = 4,0 \text{ нм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot 0,3 = 54 \text{ нм},$$

$$D_2 = (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot 0,7405^5 \cdot 0,3 = 12 \text{ нм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 0,3 = 54,2 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{3,5} \cdot 0,3 = 53,8 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,3 = 58 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^3 \cdot 0,3 = 67 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,3 = 73,2 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 0,3 = 98,85 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,6403^{10/3} \cdot 0,3 = 100,5 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,3 = 105,5 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,6403^3 \cdot 0,3 = 116,6 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^3 \cdot 0,3 = 122 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{10/3} \cdot 0,3 = 163 \text{ нм},$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 0,3 = 180 \text{ нм}.$$

Получить большую величину критического размера наночастиц при двухступенчатом вложении атомов в кластеры далее невозможно.

Последние четыре размера не являются критическими для наночастиц, при которых возможно проявление необычного изменения их физических свойств. В уравнениях для их расчета отсутствуют сомножители

с показателями степени для критической плотности упаковки элементов дискретности $\eta_{c1} = \eta_1^{(10...15)/3}$.

Критический размер кластеров и наночастиц при разделении (разбиении) вторичных элементов дискретности (блоков) на кластеры с необычным проявлением их физических свойств и с границей раздела между ними в твердой дисперсной ($\eta_2 \leq 0,64976$) или кристаллической ($\eta_1 \leq 0,7405$) фазе, согласно выражениям (5), (6), будет равен, нм:

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 0,3 = 4,0,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 0,7405 \cdot 0,3 = 3,0,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 0,64976 \cdot 0,3 \leq 2,62,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \leq 2,58,$$

$$D_2 = (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot 0,7405^5 \cdot 0,3 = 12,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,3 = 16,2(16,8),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,3 = 73,2,$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,6498 \cdot 0,3 = 47,6,$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{3,5} \cdot 0,6498^{3,5} \cdot 0,3 = 11,9(12,3),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{3,5} \cdot 0,6498^{2,5} \cdot 0,3 = 18,3(18,9),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,7405^4 \cdot 0,6498^{2,5} \cdot 0,3 = 5,9(6,1),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,7405^4 \cdot 0,6498^{3,5} \cdot 0,3 = 3,9(4),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{10/3} \cdot 0,7405^4 \cdot 0,7405^{7/3} \cdot 0,3 = 13(13,8),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,7405^2 \cdot 0,3 = 29,6(31),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,7405^2 \cdot 0,6498^{7/3} \cdot 0,3 = 21(21,9),$$

$$D = 60,38 \cdot 0,7405^3 \cdot 60,38 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,7405^2 \cdot 0,6498^{10/3} \cdot 0,3 = 13,7(14).$$

В скобках приведены размеры наночастиц с учетом делителя $\eta_i^{1/9}$. Жирным шрифтом выделены критические размеры взаимодействующих наночастиц $D \leq 10,5$ нм ($d = 0,3$ нм), при которых проявляются необычные изменения их свойств, так как для взаимодействующих элементов дискретности вещества $n \geq 10/3$ при случайной упаковке и $n \geq 15/3$ при систематической укладке.

При трехступенчатом вложении и объединении (слиянии) элементов дискретности — атомов ($d = 0,3$ нм) в кластеры, а кластеров в большие наночастицы (блоки), либо при их разъединении с границей раздела между ними размеры при систематической укладке ($\eta_1 = 0,7405$ и $n = 3$) и при произвольной (случайной) их упаковке ($\eta_2 = 0,6403\dots0,64976$, $n = 2 \cdot 1$) с образованием кристаллической и твердой дисперсной фазы соответственно будут равны, нм:

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5)^3 d = 2428d = 728,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^5)^3 \cdot 0,7405d = 1798d = 539,$$

$$\begin{aligned}
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^3 \cdot 0,6498d = 1578d = 473, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot (60,38 \cdot 0,6498^{3,5}) \cdot 0,3 = 724, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot (60,38 \cdot 0,6498^{10/3}) \cdot 0,3 = 777, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot (60,38 \cdot 0,6403^3) \cdot 0,3 = 859, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot (60,38 \cdot 0,6403^3) \cdot 0,6403 \cdot 0,3 = 550.
 \end{aligned}$$

Размер наночастиц в структуре модели трехступенчатого вложения должен быть равен, нм:

$$\begin{aligned}
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot (60,38 \cdot 0,653,5) \cdot 0,6498 \cdot 0,3 = 85, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot (60,38 \cdot 0,653,5) \cdot 0,7405^4 \cdot 0,6498^{2,5} \cdot 0,3 = 78, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,6498 \cdot 0,3 = 639, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^3 \cdot 0,7405^4 d = 730d = 219, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)^3 \cdot 0,7405^5 d = 540d = 162.
 \end{aligned}$$

Однако структуры трехступенчатого вложения элементов дискретности вещества в природных минералах и металлах не обнаружены.

Размеры (растущих — $n' = 3\dots10/3$) сферических образований (nano- и микрочастиц) при наличии и отсутствии границ раздела при их разъединении и объединении (слиянии) в твердую фазу получим из выражений (5), (6) при последовательном многоступенчатом вложении типа «кластеры в кластере». Так при $n = 1$, $\eta_1 = 0,64976\dots0,7405$ и $d = 0,3$ нм из выражений (5), (6) получим критические размеры наночастиц с необычными свойствами:

$$\begin{aligned}
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)d = 13,44 \cdot 0,3 = 4 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5)0,7405^4 d = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})d = 22,18 \cdot 0,3 = 6,7 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})0,7405^{7/3} d = 11 \cdot 0,3 = 3,3 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,64976^{10,5/3})d = 13,35 \cdot 0,3 = 4,0 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,64976^{10/3})d = 14,35 \cdot 0,3 = 4,3 \text{ нм}.
 \end{aligned}$$

При $n = 1 \cdot 1$ — при наличии аморфной фазы, $\eta_1 = 0,7405$, $\eta_2 \leq 0,64976$ и $d = 0,3$ нм из выражения (6) с границей и без границы раздела между кластерами получим:

$$\begin{aligned}
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^3) \cdot 60,38 \cdot 0,64976^3 \cdot 0,64976d = 264 \cdot 0,3 = 79 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^3) \cdot 60,38 \cdot 0,64976^3 \cdot 0,6403d = 260 \cdot 0,3 = 78 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^{10/3}) \cdot 60,38 \cdot 0,64976^{(9\dots10)/3} \cdot 0,3 = 110\dots95 \text{ нм}, \\
 D &= (60,38 \cdot 0,7405^5) \cdot 60,38 \cdot 0,64976^{(9\dots10,5)/3} \cdot 0,3 = 67\dots54 \text{ нм}.
 \end{aligned}$$

Размер кластеров с плотностью упаковки в них элементов дискретности $\eta_1 = \eta_2 = 0,7405$ при $n = 2$ и с преимуществом поверхностных будет равен, нм:

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^2 \cdot 0,7405^3 \cdot 0,3 = 244 \cdot 0,3 = 73,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^2 \cdot 0,7405^2 \cdot 0,3 = 328 \cdot 0,3 = 98,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^2 \cdot 0,7405^{7/3} \cdot 0,3 = 244 \cdot 0,3 = 73,$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^2 \cdot 0,7405^{10/3} \cdot 0,3 = 180 \cdot 0,3 = 54.$$

Допуская двух- и более ступенчатые вложения растущих элементов дискретности как при их слиянии в микрочастицы, так и при разъединении с границей раздела между ними с плотностью их упаковки $\eta_1 = 0,7405$ и $\eta_2 = 0,64976$, размер их будет равен:

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^2 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{7/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 4,2 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^2 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{7/3} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \text{ нм} = 2,83 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^2 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^2 \cdot 0,64976 \cdot 0,3 \text{ нм} = 5,24 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^2 \cdot 60,38 \cdot 0,65^{10/3} \cdot 0,7405^2 \cdot 0,64976^{10/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 1,12 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^2 \cdot 60,38 \cdot 0,65^{10,5/3} \cdot 0,7405^2 \cdot 0,65^{7,5/3} \cdot 0,65 \cdot 0,3 \text{ нм} = 292 \text{ нм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^3 \cdot 60,38 \cdot 0,65^{10/3} \cdot 0,7405^2 \cdot 0,65^{7/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 12,7 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^3)^3 \cdot 60,38 \cdot 0,65^{10/3} \cdot 0,7405^2 \cdot 0,65^{10/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 8,26 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^2 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{10/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 3,1 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^3 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{7/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 98 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^3 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{10/3} \cdot 0,3 \text{ нм} = 72,6 \text{ мкм},$$

$$D = (60,38 \cdot 0,7405^{10/3})^3 \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{7/3} \cdot 0,64976 \cdot 0,3 \text{ нм} = 47 \text{ мкм}.$$

При увеличении показателя степени $n \geq 3$ в выражениях (1)–(6) возможен дальнейший рост кристаллов сферической и ограниченной формы до равновесного размера в природных или искусственных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хархардин, А.Н. Критический размер микро- и наночастиц, при котором проявляются их необычные свойства [Текст] / А.Н. Хархардин, В.В. Строкова, М.И. Коухова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 10. — С. 109–115.
2. Череватова, А.В. Минеральныеnanoструктурированные вяжущие [Текст] / А.В. Череватова, И.В. Жерновский, В.В. Строкова. — Lap Lambert Academic Publishing, 2011. — 170 с.
3. Строкова, В.В. О влиянии размерных параметров полиморфных модификаций кварца на его активность в композиционных вяжущих [Текст] / В.В. Строкова, И.В. Жерновский, Ю.В. Фоменко // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2007. — № 4. — С. 48–49.

4. Уваров, В.А. Новое направление механоактивации цемента [Текст] / В.А. Уваров, В.Г. Шаптала, В.В. Шаптала, Д.А. Овчинников // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 3. — С. 68–73.

*ХАРХАРДИН Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Получено 16.04.14

Kharkhardin Anatoly Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

BASIC DISCRETENESS LEVEL OF MATTER

Part 4

The calculation of critical sizes of clusters, nano- and microparticles forming at wet and dry grinding modes of mineral raw materials as well as discreteness level of simple substances is accomplished.

Key words: dispersed and crystal substances, clusters, nano- and microparticles, critical size.

REFERENCES

1. Kharkhardin, A.N. The critical size for micro- and nanoparticles when their unique properties could be occurred [Text] / A.N. Kharkhardin, V.V. Strokova, M.I. Kozhukhova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 10. — P. 109–115.
2. Cherevátova, A.V. Mineral nanostructured binders [Text] / A.V. Cherevátova, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova. — Lap Lambert Academic Publishing, 2011. — 170 p.
3. Strokova, V.V. About influence of parameters of quartz polymorphous modifications on its reactivity of composite binders [Text] / V.V. Strokova, I.V. Zhernovsky, Yu.V. Fomenko // Bulletin of BSTU named of V.G. Shukhov. — 2007. — N 4. — P. 48–49.
4. Uvarov, V.A. New mode of cement mechanoactivation [Text] / V.A. Uvarov, V.G. Shaptala, V.V. Shaptala, D.A. Ovchinnikov // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. — 2013. — N 3. — P. 68–73.

УДК 691.714 : 669.14.018.8

**С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, Н.С. КАСЬЯНЕНКО,
Ю.В. МАНОХИНА, Н.М. ВИТАЛОВА**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
КОРРОЗИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ,
ПРОТЕКАЮЩИХ ПО МЕХАНИЗМУ ВТОРОГО ВИДА,
ПРИ МАЛЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ЧИСЛА ФУРЬЕ**

Приведены некоторые решения математической модели процессов коррозии цементных бетонов, протекающих по механизму второго вида, при малых значениях чисел Фурье. Проведен анализ результатов численного и натурного экспериментов, говорящий о сходимости полученных данных.

Ключевые слова: коррозия бетона, математическая модель, числа Фурье.

Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии является важнейшей проблемой, решение которой направлено на увеличение срока службы конструкций зданий и сооружений различного назначения. Вопросы качества и долговечности строительных конструкций как в техническом, так и в экономическом аспекте привлекают все большее внимание ученых. Очевидно, что во многих случаях экономически оправдано увеличение первоначальных затрат на изготовление конструкций и их надежную защиту, если это позволяет сократить число и стоимость ремонтов в процессе эксплуатации [1].

Процессы коррозии второго вида развиваются с большой скоростью и представляют значительную опасность для бетонных и железобетонных конструкций. При воздействии растворов веществ, образующих с компонентами цементного камня практически нерастворимые аморфные продукты (например, гидроксид магния), в начальной стадии коррозионного процесса происходит уплотнение бетона, замедление скорости процесса. Затем по мере разрушения гидратированных соединений цементного камня происходит снижение прочности и долговечности бетонной конструкции.

Большой теоретический и практический материал о процессах коррозии бетона, накопленный годами, создает предпосылки для обобщений, представления результатов в форме математических моделей различных стадий этих процессов. Они позволяют с требуемой точностью рассчитать долговечность строительных конструкций, разработать меры по защите бетонных и железобетонных конструкций от разрушающего действия агрессивной среды как на стадии проектирования и изготовления изделий, так и на этапе эксплуатации. Применение математических моделей позволит экономически обоснованно назначать средства защиты и устанавливать сроки их применения [2].

© Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С., Манохина Ю.В., Виталова Н.М.,
2014

Так, например, математическая задача массопроводности для коррозии бетона второго вида имеет вид:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{q_v(x)}{\rho_b} \tau \geq 0, \quad 0 \leq x \leq \delta, \quad (1)$$

$$\tilde{N}(x, \tau) \Big|_{\tau=0} = C_0(x), \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial C(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad (3)$$

$$-k\rho_b \left. \frac{\partial C(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\delta} = q_n, \quad (4)$$

где $C(x, \tau)$ — концентрация «свободного CaO» в бетоне в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , кг CaO / кг бетона;

$C_0(x)$ — концентрация «свободного CaO» в бетоне в начальный момент времени в произвольной точке с координатой x , кг CaO / кг бетона;

k — коэффициент массопроводности в твердой фазе, $\text{м}^2 / \text{с}$;

δ — толщина стенки конструкции, м;

x — координата, м;

τ — время, с;

$q_v(x)$ — источник массы вещества в результате химической реакции, кг / ($\text{м}^3 \cdot \text{с}$);

q_n — плотность потока массы вещества из бетона в жидкую среду, кг / ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$);

ρ_b — плотность бетона, кг / м^3 .

В общем случае мощность объемного источника массы есть величина, распределенная по координате по произвольному закону. Рассмотрим частный случай решения задачи, когда источник массы вещества распределен по координате равномерно.

В безразмерных переменных эта задача имеет вид:

$$\frac{\partial \theta(\bar{x}, F_{0m})}{\partial F_{0m}} = \frac{\partial^2 \theta(\bar{x}, F_{0m})}{\partial \bar{x}^2} + P_{0m}^*(\bar{x}); \quad F_{0m} > 0; \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1, \quad (5)$$

$$\theta(\bar{x}, F_{0m}) \Big|_{F_{0m}=0} = \theta_0(\bar{x}), \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial \theta(\bar{x}, F_{0m})}{\partial \bar{x}} \right|_{\bar{x}=0} = 0, \quad (7)$$

$$-\left. \frac{\partial \theta(\bar{x}, F_{0m})}{\partial \bar{x}} \right|_{\bar{x}=1} = K_{1m}^*, \quad (8)$$

где $\theta(\bar{x}, F_{0m}) = \frac{C(x, \tau) - C_0}{C_0}$ — безразмерная концентрация переносимого компонента;

$P_{0m}^* = \frac{q_v(x) \cdot \delta^2}{k \cdot C_0 \cdot \rho_b}$ — модифицированный критерий Померанцева;

$Fo_m = k \cdot \tau / \delta^2$ — массообменный критерий Фурье;
 $\bar{x} = x / \delta$ — относительная координата.

Решение данной краевой задачи в области изображений по Лапласу [3] имеет вид [4]:

$$\begin{aligned} \theta(\bar{x}, s) = & -\frac{Ki_m^* \cdot ch(\sqrt{s}\bar{x})}{s \cdot \sqrt{s} \cdot sh\sqrt{s}} + \frac{ch(\sqrt{s}\bar{x})}{\sqrt{s} \cdot sh\sqrt{s}} \int_0^1 \theta_0(\xi) ch\sqrt{s}(1-\xi)d\xi + \\ & + \frac{ch(\sqrt{s}\bar{x})}{s \cdot \sqrt{s} \cdot sh\sqrt{s}} \int_0^1 Po_m^*(\xi) ch\sqrt{s}(1-\xi)d\xi - \\ & - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{x}} \theta_0(\xi) sh\sqrt{s}(\bar{x}-\xi)d\xi - \frac{1}{s\sqrt{s}} \int_0^{\bar{x}} Po_m^*(\xi) sh\sqrt{s}(\bar{x}-\xi)d\xi. \end{aligned} \quad (9)$$

Опуская громоздкую процедуру перевода слагаемых полученного выражения в область оригиналов при малых значениях массообменного числа Фурье, приведем окончательную запись:

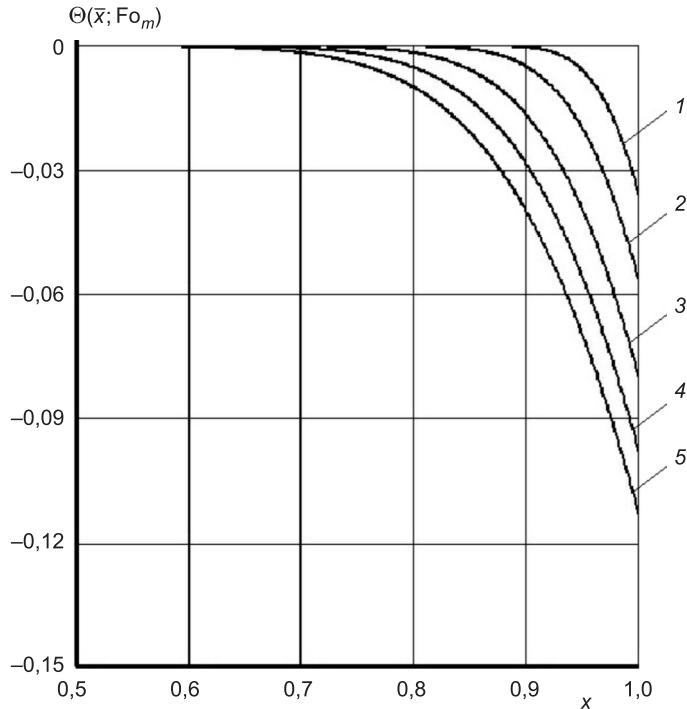
$$\begin{aligned} \theta(\bar{x}, Fo_m) = & Ki_m^* (1 \pm \bar{x}) erfc \left[\frac{(1 \pm \bar{x})}{2\sqrt{Fo_m}} \right] - \\ & - 2Ki_m^* \sqrt{\frac{Fo_m}{\pi}} \exp \left[-\frac{(1 \pm \bar{x})^2}{4Fo_m} \right] + \frac{1}{\sqrt{\pi Fo_m}} \times \\ & \times \int_0^1 \theta_0(\xi) \exp \left[-\frac{(1 \pm \bar{x} + \xi)^2}{4Fo_m} \right] d\xi + \\ & + 2\sqrt{Fo_m} \int_0^1 Po_m^*(\xi) ierfc \left[\frac{(1 \pm \bar{x} + \xi)}{2\sqrt{Fo_m}} \right] d\xi. \end{aligned} \quad (10)$$

На рисунке представлены некоторые результаты расчетов по выражению (10) при малых значениях числа Fo_m .

Рисунок иллюстрирует динамику полей безразмерных концентраций по толщине конструкции. Расчеты выполнены для значения критерия Полмеранцева $Po_m^* = 0$. Отчетливо виден параболический характер профиля концентраций, также видно, что зона массопереноса гидроксида кальция находится на внешней границе бетонного изделия.

Полученные решения позволяют совместно с уравнениями химической кинетики производить расчеты профилей концентраций гидроксида кальция в бетоне и находить условия, при которых эта концентрация достигает значений начала разложения высокоосновных соединений бетона: алита, белита, трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита, а значит, и переходить к дальнейшим этапам изучения и моделирования развития коррозионных процессов.

Также нами проведены экспериментальные исследования процесса массопереноса переносимого компонента (гидроксида кальция) с учетом его взаимодействия с реакционной средой до начала наступления разложения высокоосновных составляющих цементного камня. Проведенный анализ результатов численного и натурного экспериментов позволяет судить о сходимости полученных данных, что дает возможность использо-



Профили безразмерных концентраций при $\text{Po}_m^* = 0$, $\text{Ki}_m^* = 1$ и Fo_m :

1 — 0,001; 2 — 0,0025; 3 — 0,005, 4 — 0,0075; 5 — 0,01

вать разработанную математическую модель и предложенный метод расчета процесса массопереноса при начальном этапе коррозии второго вида цементных бетонов на реальных объектах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанова, В.Ф. Проблемы долговечности зданий и сооружений (от конференции до конференции) [Текст] / В.Ф. Степанова // Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: материалы Междунар. конф.— СПб. : Роза мира, 2007. — С. 12–15.
2. Федосов, С.В. Массоперенос в процессах жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов, контролируемый диффузионно-кинетическим сопротивлением [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко // Строительные материалы. — 2011. — № 1. — С. 50–53.
3. Федосов, С.В. Сульфатная коррозия бетона [Текст] / С.В. Федосов, С.М. Базанов. — М. : Изд-во АСВ, 2003. — 192 с.
4. Федосов, С.В. Нестационарный массоперенос в процессах коррозии второго вида цементных бетонов (малые значения числа Фурье) [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко, Ю.В. Манохина // Вестник гражданских инженеров. — 2011. — № 1 (26). — С. 104–107.

ФЕДОСОВ Сергей Викторович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ивановский государственный политехнический университет

РУМЯНЦЕВА Варвара Евгеньевна, д-р техн. наук, доц.

Ивановский государственный политехнический университет

КАСЬЯНЕНКО Наталья Сергеевна, канд. техн. наук, научный сотрудник
ООО «НИИОТ в г. Иваново», г. Иваново

МАНОХИНА Юлия Валерьевна, асп.

Ивановский государственный политехнический университет

ВИТАЛОВА Нина Михайловна, канд. техн. наук

Ивановский государственный политехнический университет

Получено 07.04.14

Fedosov Sergey Viktorovich, RAACS academician, doctor of technical sciences, professor, Ivanovo State Polytechnical University, Russia

Rumyantseva Varvara Evgenevna, doctor of technical sciences, assistant professor, Ivanovo State Polytechnical University, Russia

Kasyanenko Nataliya Sergeevna, candidate of technical sciences, Researcher of Co.Ltd «NIIOT in Ivanovo», Ivanovo, Russia

Manokhina Yuliya Valerevna, post-graduate student, Ivanovo State Polytechnical University, Russia

Vitalova Nina Mikhaylovna, candidate of technical sciences, Ivanovo State Polytechnical University, Russia

MATHEMATICAL MODELING OF CEMENT CONCRETE CORROSION DESTRUCTION PROCEEDING VIA THE SECOND KIND MECHANISM AT SMALL VALUES OF FOURIER NUMBER

Several solutions of mathematical model of corrosion processes proceeding in cement concretes via the second kind mechanism at small values of the Fourier numbers are presented. The results of numerical and physical experiments have been analyzed to show the convergence of the data obtained.

Key words: corrosion of concrete, mathematical model, the Fourier numbers.

REFERENCES

1. Stepanova, V.F. The problems of durability of buildings and structures (from conference to conference) [Text] / V.F. Stepanova // Problems of durability of buildings and structures in modern construction: Materials of Intern. Conf. — St. Petersburg : The World's Rose, 2007. — P.12–15.
2. Fedosov, S.V. Mass transfer in the processes of the second type liquid corrosion in cement concrete controlled by diffusion-kinetic resistance [Text] / S.V. Fedosov, V.E. Rumyantseva, N.S. Kasyanenko // Building materials. — 2011. — N 1. — P. 50–53.
3. Fedosov, S.V. Sulphate corrosion of concrete [Text] / S.V. Fedosov, S.M. Bazonov. — M. : Publishing house ASV, 2003. — 192 p.
4. Fedosov, S.V. Nonstationary mass transfer in cement concrete corrosion processes of the second type (small values of the Fourier number) [Text] / S.V. Fedosov, V.E. Rumyantseva, N.S. Kasyanenko, Yu.V. Manokhina // Herald of Civil Engineers.— 2011. — N 1 (26). — P. 104–107.

УДК 691:625.07

Ш.М. РАХИМБАЕВ, А.А. ЛОГВИНЕНКО

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Исследованы реологические свойства грунтобетонных смесей, применяющихся для строительства железных и автомобильных дорог, без использования добавок и с добавками декстрина и суперпластификатора С-З.

Ключевые слова: грунтобетонные смеси, электросталеплавильный шлак, добавки, реологические свойства, модели течения.

При производстве строительных материалов для снижения материоемкости изделий и их себестоимости все чаще используют нетрадиционное сырье, такое как грунты различного состава и генезиса [1]. Аналогичная тенденция наблюдается и при строительстве объектов транспортной инфраструктуры. В условиях повышения нагрузок в транспортной сфере (от подвижного состава — на железных дорогах, автотранспорта — на автомобильных дорогах) и постоянной нехватки прочных каменных материалов все больше внимания обращают на возможность использования грунтов с добавками цементов и ПАВ (грунтобетонных смесей) для строительства укрепленного верха земляного полотна железных и слоев оснований автомобильных дорог [2]. Содержание цемента в таких системах изменяется в пределах от 6 до 14 %. Сократить содержание самого дорогостоящего компонента сырьевой системы — цемента можно за счет введения зол, шлаков и других малоактивных техногенных материалов. В работе З рассмотрена возможность получения глиношлаковых композиций без цементного вяжущего за счет использования саморассыпающихся электросталеплавильных шлаков Оскольского электрометаллургического комбината. Однако введение в грунты вяжущих не всегда приводит к получению материалов с необходимыми показателями прочности, водо- и морозостойкости, которые предъявляются к тем или иным объектам строительного или дорожного комплексов. В таких случаях прибегают к введению различных, зачастую малоэффективных ПАВ. В литературных данных, авторских свидетельствах и патентных документах имеется достаточно большое количество разработок с приведенными показателями прочностных, деформационных и морозостойких характеристик грунтобетонов, полученных на основе техногенных материалов и ПАВ.

Однако вопросам изучения реологических свойств смесей подобного состава зачастую не уделяется должного внимания. Впервые реологические свойства смесей такого сложного состава были исследованы в работах Ф.Д. Овчаренко [4], П.Ф. Овчинникова, Н.Н. Круглицкого с сотрудниками [5].

В исследованиях упомянутых авторов использовались в основном глинистые минералы и их смеси без добавки вяжущих веществ. Смесям

же глин, суглинков, супесей с добавками шлаков, цемента и ПАВ, особенно их реологическим свойствам, до последнего времени уделялось мало внимания, поэтому данная работа посвящена изучению этой системы.

В исследовании применялись следующие исходные материалы: электросталеплавильный шлак Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК), содержащий $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, ферриты кальция, кальций-магниевые силикаты и др.; глина Чибисовского месторождения Липецкой области с преимущественным содержанием в составе гидрослюды и каолинита, бентонитовая глина месторождения «10-й Хутор» Республики Хакасия, содержащая в основном монтмориллонит; суглинок тяжелый пылеватый региона КМА, являющийся полиминеральной породой с преобладанием частиц кварца. Химический состав шлака ОЭМК и глинистых материалов приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1. Химический состав шлака ОЭМК

Содержание, мас. %							
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	TiO ₂	Na ₂ O / K ₂ O
39,22	21,15	8,5	12,9	11,77	0,24	0,31	0,07 / 0,08

Таблица 2. Химический состав глинистых материалов

Материал	Содержание, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Прочее
Глина Чибисовского месторождения	68,58	24,73	0,301	2,79	0,592	1,36	0,189	1,14	0,318
Глина месторождения «10-й Хутор»	65,7	21,1	1,75	2,96	3,72	1,28	2,26	0,698	0,532
Суглинок тяжелый пылеватый	64,4	15,69	8,76	4,56	2,27	2,21	0,72	0,8	0,59

Выбор материалов исследования обоснован тем, что грунты, используемые для получения укрепленных конструкций, как правило, содержат в своем составе три и более минералов, такие как кварц, каолинит, гидрослюдя, монтмориллонит, кальцит, полевые шпаты и т.п., поэтому представляет интерес изучение совместного влияния и каждого из минералов в отдельности на реологические свойства смесей.

Испытания были выполнены с помощью ротационного вискозиметра «Rheotest-2» в области градиента скорости сдвига $\dot{\gamma} \geq 50 \text{ с}^{-1}$. Величина зазора между соосными цилиндрами составляла 2 мм.

На рис. 1 приведены прямая и обратная реограммы шлаковой суспензии с $B/T = 0,58$.

Анализ прямой и обратной реограмм показал, что при градиенте скорости сдвига $\dot{\gamma} < 16 \text{ с}^{-1}$ наблюда-

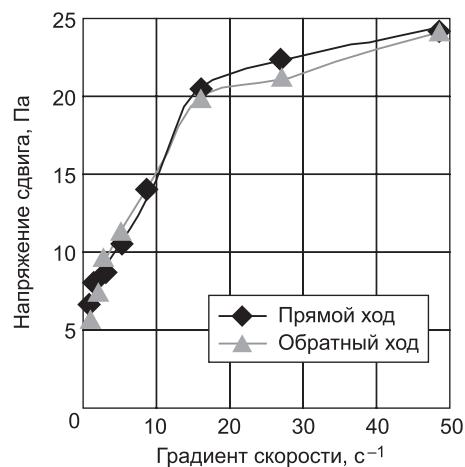


Рис. 1. Шлаковая суспензия

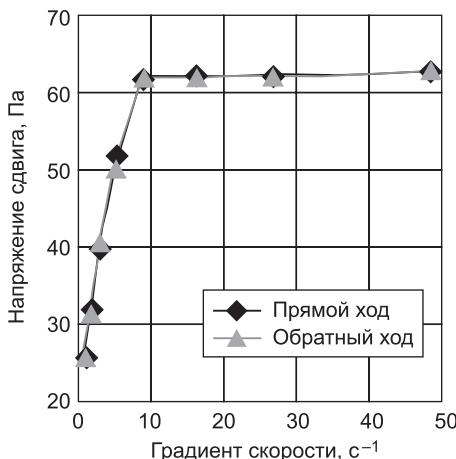


Рис. 2. Суспензия гидрослюдисто-каолинового состава

ным градиентом скорости сдвига ($40\ldots50\text{ c}^{-1}$).

На рис. 2 приведена реограмма полиминеральной глины, состоящей в основном из гидрослюды и каолинита, с $B/T = 1,07$.

В данном случае при градиенте скорости сдвига до 10 c^{-1} наблюдается слабовыраженное тиксотропное течение, которое характеризуется уменьшением пластической вязкости по мере роста $\dot{\gamma}$. При $\dot{\gamma} = 10\ldots50\text{ c}^{-1}$ имеет место чисто пластическое течение по модели Сен-Бенана с постоянной пластической вязкостью и независимостью напряжения от градиента скорости сдвига. Механизм течения суспензии в данном случае можно представить следующим образом: в области малых градиентов скорости сдвига (до 10 c^{-1}) происходит вязкопластичное течение потока в узком пристенном слое, примыкающем к стенкам стального измерительного цилиндра, который претерпевает незначительные разрушения своей структуры при увеличении $\dot{\gamma}$ от 1 до 10 c^{-1} . При градиенте скорости сдвига более 10 c^{-1} разрушение пристенного слоя завершается и далее течение суспензии идет в виде сплошного ядра с неразрушенной структурой, т.е. все точки этого ядра движутся с одинаковой скоростью (поршневой режим течения). Напряжение сдвига у стенок измерительного прибора составляет 62 Па, при этом прямая и обратная реограммы сливаются во всем интервале измерения. Подобный характер течения в реологии неорганических суспензий встречается довольно редко (особенно в форме, характерной для чистой модели Сен-Бенана).

На рис. 3 приведена реограмма монтмориллонитовой суспензии с $B/T = 3,7$.

ется течение суспензии с практически неразрушенной структурой, что соответствует модели Шведова. В области градиента скорости сдвига $16\ldots50\text{ c}^{-1}$ наблюдается слабовыраженное тиксотропное течение, которое характеризуется падением вязкости по мере увеличения градиента скорости. На начальном участке происходит практически полное слияние прямой и обратной реограмм, при повышении градиента скорости сдвига от 16 до 50 c^{-1} наблюдается небольшая петля гистерезиса, обусловленная замедленным восстановлением структуры потока, ранее разрушенной повышен-

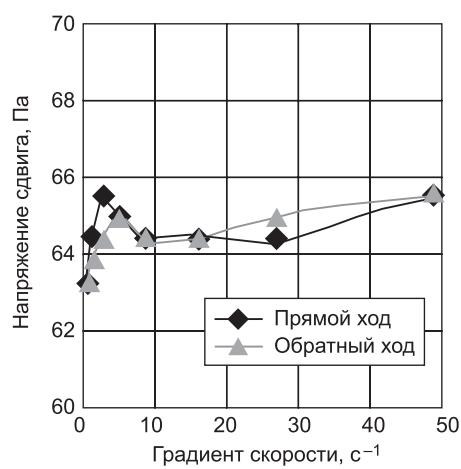


Рис. 3. Суспензия монтмориллонитового состава

Как показывает анализ реограммы, суспензия в области градиента скорости сдвига 2...3 с^{-1} деформируется в соответствии с реологической моделью Шведова с практически неразрушенной структурой. При увеличении $\dot{\gamma}$ до 5...6 с^{-1} наблюдается разрушение структуры, а при градиенте скорости сдвига 10...27 с^{-1} суспензия проявляет свойства чисто пластического тела по модели Сен-Венана. При увеличении скорости сдвига от 27 до 50 с^{-1} имеет место линейный рост напряжения сдвига. Петля гистерезиса на обратной реограмме выражена очень слабо и находится в пределах точности измерения.

Как видно из анализа реограмм, приведенных на рис. 2 и 3, деформация монтмориллонитовой суспензии во многом сходна с суспензией, содержащей в своем составе гидрослюдку и каолинит. Наблюдается интересная закономерность перехода течения глинистых суспензий различного минералогического состава на чисто пластический режим по модели Сен-Венана при градиенте скорости сдвига 10 с^{-1} .

Часто для повышения прочности, водо- и морозостойкости композитов на основе грунтов используют ПАВ. Проанализируем поведение глинистых суспензий, имеющих гидрослюдисто-каолинитовый и монтмориллонитовый составы, при добавлении одного процента декстролина и суперпластификатора С-3.

При добавлении к суспензии гидрослюдисто-каолинитового состава с $B/T = 1,07$ декстролина характер течения, как видно из приведенной на рис. 4 реограммы, резко меняется и суспензия ведет себя как нормальное тиксотропное реологически сложное тело. При скорости сдвига до 5...6 с^{-1} течение происходит с практически неразрушенной структурой в соответствии с моделью Шведова. В области градиента скорости сдвига 6...50 с^{-1} наблюдается постепенное тиксотропное разрушение структуры суспензии, которое не завершается и при $\dot{\gamma} = 50 \text{ с}^{-1}$.

Как видно из рис. 5, при добавлении 1 % С-3 суспензия гидрослюдисто-каолинитового состава с $B/T = 1,07$ во всем интервале изменения скорости сдвига ведет себя как нелинейное вязкопластическое тело, у которого наблюдаются две области течения с практически неразрушенной

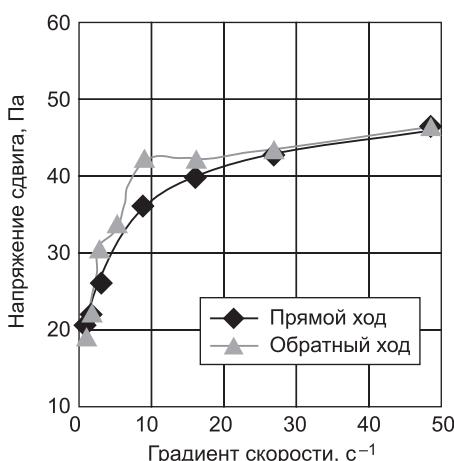


Рис. 4. Суспензия гидрослюдисто-каолинитового состава с 1 % декстролина

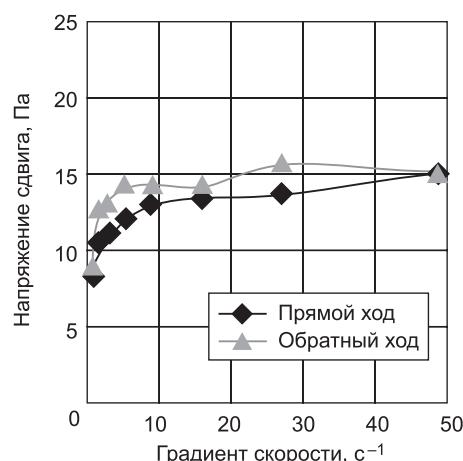


Рис. 5. Суспензия гидрослюдисто-каолинитового состава с 1 % С-3

структурой при $\dot{\gamma} = 1 \dots 3 \text{ с}^{-1}$ и $\dot{\gamma} = 3 \dots 10 \text{ с}^{-1}$: первый участок представляет собой течение суспензии в соответствии с реологической моделью Шведова; второй участок имеет характер Бингамовского режима течения. При скорости сдвига от 10 до 50 с^{-1} суспензия представляет собой нелинейное реологически сложное тело с постепенно разрушающейся структурой. Интересной особенностью реограммы гидрослюдисто-каолинитового состава с добавкой 1 % суперпластификатора С-3 является тот факт, что обратная реограмма расположена выше прямой во всем интервале измерения. Возможной причиной этого является наличие у данной суспензии дилатантных свойств. Подтверждением данного утверждения является тот факт, что прямая реограмма в области $\dot{\gamma} = 30 \dots 50 \text{ с}^{-1}$ указывает также на наличие дилатантных свойств.

Анализ реограмм суспензии монтмориллонитового состава с $B/T = 3,7$ при добавлении 1 % декстролина (рис. 6) и 1 % С-3 (рис. 7) показывает, что введение добавок во всем интервале градиентов скорости сдвига более $6 \dots 9 \text{ с}^{-1}$ превращает суспензию в практически чисто пластическое тело по модели Сен-Венана. С-3 сильнее, чем декстролин, действует как пластификатор глинистых суспензий.

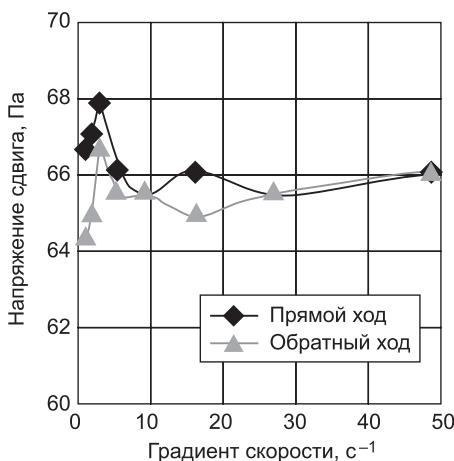


Рис. 6. Суспензия монтмориллонитового состава с 1 % декстролина

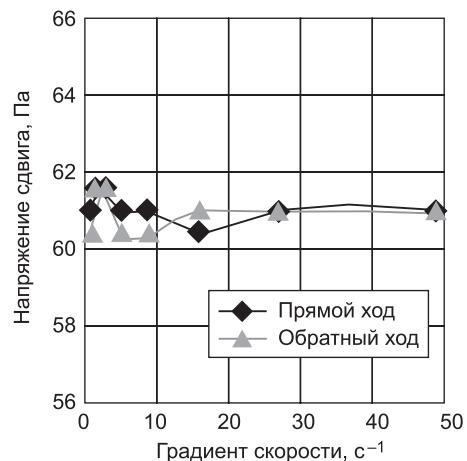


Рис. 7. Суспензия монтмориллонитового состава с 1 % С-3

Интересно, что добавление декстролина в монтмориллонитовую суспензию вызывает увеличение напряжения сдвига по сравнению с монтмориллонитовой суспензией без декстролина. Это увеличение невелико и составляет 5–6 %, однако достаточно явственно выражено, особенно на участке реограммы рис. 6 при $\dot{\gamma} = 2 \dots 4 \text{ с}^{-1}$. Причина этого заключается, по-видимому, в одновременной адсорбции полисахаридов, из которых состоит декстролин, на нескольких частицах глинистой суспензии, что вызывает их упрочнение и некоторое увеличение пластических свойств. В смесях гидрослюдисто-каолинитового состава декстролин вызывает эффект разжижения суспензии. Это явление обусловлено тем, что декстролин, адсорбируясь на отрицательно заряженных базальных плоскостях каолинита своими активными центрами, содержащими гидроксильные группы, блокирует их от структурообразования, обусловленного притя-

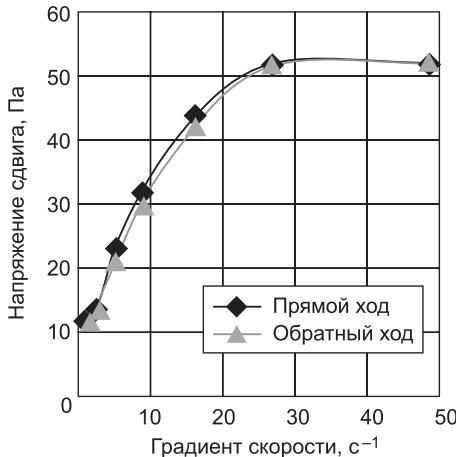


Рис. 8. Суспензия грунтошлакоцементных смесей без добавок

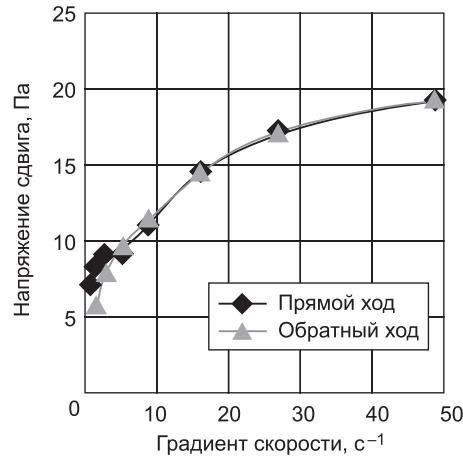


Рис. 9. Суспензия грунтошлакоцементной смеси с 1 % декстрина

жением кремнийкислородных слоев к алюмогидроксильным, несущим положительный заряд.

На рис. 8 приведены реограммы производственного состава грунтошлакоцементных смесей (суглинок тяжелый пылеватый и шлак ОЭМК), которые могут использоваться для строительства укрепленного верха земляного полотна железных и оснований автомобильных дорог.

Их анализ показывает, что в отсутствие добавок декстрина и суперпластификатора С-3 суспензия данного состава ведет себя как тиксотропное вязкопластичное тело при градиенте скорости сдвига до 27 с^{-1} . В области $\dot{\gamma} = 27 \dots 50 \text{ с}^{-1}$ наблюдаются чисто пластические деформации. Ввод 1 % декстрина (рис. 9) приводит к снижению пластической вязкости в 2...2,5 раза и ослаблению тиксотропных свойств суспензии. Однако при вводе 1 % декстрина даже в области больших значений скорости сдвига ($40 \dots 50 \text{ с}^{-1}$) чисто пластического течения не наблюдается, а суспензия ведет себя как вязкопластичное тело.

При вводе 1 % С-3 (рис. 10) пластическая вязкость грунтошлакоцементной смеси падает в два раза больше, чем при вводе декстрина. При этом реограммы содержат два участка: 1 — при скорости сдвига до 5 с^{-1} наблюдается течение по модели Шведова с практически неразрушенной структурой; 2 — при $\dot{\gamma} = 5 \dots 50 \text{ с}^{-1}$ происходит постепенное разрушение структуры по мере роста скорости сдвига. В данном случае, как и в суспензии грунтошлакоцементной смеси с добавкой декстрина, участков с чисто пластической деформацией не наблюдается.

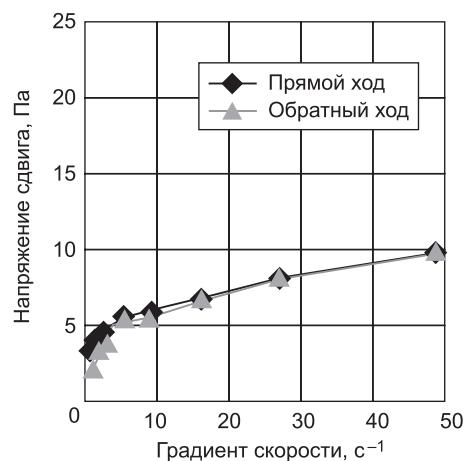


Рис. 10. Суспензия грунтошлакоцементной смеси с 1 % С-3

Вывод. Анализ реограмм грунтошлакоцементной смеси с добавками декстрина и суперпластификатора С-З говорит о том, что имеет место значительное разжижающее действие добавок на грунтошлакоцементные смеси производственного состава. Уместно отметить, что декстрин по сравнению с суперпластификатором С-З имеет низкую стоимость, отличается стабильностью свойств и может быть рекомендован для получения грунтобетонов.

Обобщая изложенное, необходимо отметить, что испытанные нами суспензии, особенно глинистые, представляют собой реологически сложные тела с протяженными участками чисто пластического течения с нулевой вязкостью. Такие реограммы встречаются крайне редко и практически отсутствуют в описаниях отечественных и зарубежных авторов. Приведенные экспериментальные данные являются одними из первых, посвященных подобным объектам.

Учитывая большое практическое значение смесей различных грунтов с добавками вяжущих в виде шлаков и цемента, исследования в этом направлении необходимо продолжить.

Делать крупные обобщения по реологии описанных выше систем можно после получения дополнительных экспериментальных данных по этой проблеме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, В.С. Влияние состава сырья на свойства безавтоклавных силикатных материалов [Текст] / В.С. Лесовик, А.А. Володченко // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 1. — С. 10–15.
2. Шарапов, С.Н. Инновационный способ устройства защитного подбалластного слоя из природных материалов для малообслуживаемого пути [Текст] / С.Н. Шарапов, Э.П. Исаенко, А.А. Логвиненко // Путь и путевое хозяйство. — 2013. — № 8. — С. 17–21.
3. Старостина, Ю.Л. Глиношлаковые материалы автоклавного твердения на основе саморассыпающихся сталеплавильных шлаков [Текст] / Ю.Л. Старостина, Н.С. Лупандина, Ю.С. Воронина, И.В. Старостина // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2012. — № 3. — С. 170–174.
4. Овчаренко, Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов [Текст] / Ф.Д. Овчаренко. — Киев : Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1961. — 275 с.
5. Овчинников, П.Ф. Реология тиксотропных систем [Текст] / П.Ф. Овчинников, Н.Н. Круглицкий, Н.В. Михайлов. — Киев : Наук. думка, 1972.— 120 с.

РАХИМБАЕВ Шарк Матрасулович, д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ЛОГВИНЕНКО Анжелика Александровна, канд. техн. наук, доц.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 02.04.14

Rakhimbaev Shark Matrasulovich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Logvinenko Anzhelika Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MATERIALS FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURAL CONSTRUCTION

Rheological properties of soil-cement mixes, which are used in road/railroad construction, were researched without using additives and with use of dextrin and Superplasticizer C-3 additives.

Key words: soil-cement mixes, steelmaking slag obtained from arc-furnaces, additives, rheological properties, flow models.

REFERENCES

1. Lesovik, V.S. Influence of raw materials composition on properties of nonautoclaved silicate materials [Text] / V.S. Lesovik, A.A. Volodchenko // Vestnik BSTU (Belgorod State University) named after V.G. Shukhov. — 2013. — N 1. — P. 10–15.
2. Sharapov, S.N. Innovative way of composing protective sub-ballast layer out of natural materials for low-maintenance track [Text] / S.N. Sharapov, E.P. Isaenko, A.A. Logvinenko // Track and track facilities. — 2013. — N 8. — P. 17–21.
3. Starostina, Yu.L. Autoclave hardened clay-slag materials based on self-crumbling steelmaking slag [Text] / Yu.L. Starostina, N.S. Lupandina, Yu.S. Voronina, I.V. Starostina // Vestnik BSTU (Belgorod State University) named after V.G. Shukhov. — 2012. — N 3. — P. 170–174.
4. Ovcharenko, F.D. Wetting ability of clay and clay minerals [Text] / F.D. Ovcharenko. — Kiev : Published by Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1961. — 275 p.
5. Ovchinnikov, P.F. Rheology of thixotropic systems [Text] / P.F. Ovchinnikov, N.N. Kruglitsky, N.V. Mikhailov. — Kiev : Naukova dumka, 1972. — 120 p.

УДК 691.42:666.31

В.З. АБДРАХИМОВ, А.В. КОЛПАКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ: ДОЛОМИТОВЫХ ВЫСЕВОК И ИЗВЕСТНЯКОВОЙ МУКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КИРПИЧА

Для сокращения времени сушки кирпича-сырца в качестве отощителя и плавня при производстве кирпича без применения природных традиционных сырьевых материалов целесообразно использовать кальцийсодержащие отходы, а в качестве глинистого компонента — межсланцевую глину (отход добычи горючих сланцев).

Ключевые слова: керамический кирпич, межсланцевая глина, промышленные отходы, экология, температура обжига, физико-механические показатели.

Производство керамических материалов — одна из самых материоемких отраслей народного хозяйства, поэтому рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором ее успешного развития в условиях проводимой экономической реформы. В связи с этим применение в керамических материалах отходов производств приобретает особую актуальность [1, 2].

Цель работы: получение керамического кирпича из отходов производств без применения природного традиционного сырья.

В производстве керамического кирпича в качестве отщающего материала для сокращения сроков сушки использовались доломитовые высеевки и известняковая мука, а в качестве глинистого компонента — межсланцевая глина, химические составы представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Оксидный химический состав компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
Доломитовые высеевки	34,7	7,9	1,8	34	8,7	1,4	10,8
Известняковая мука	33,2	6,2	1,4	42,1	3,5	2,3	11,1
Межсланцевая глина	45–47	13–14	5–6	11–13	2–3	3–4	18

Таблица 2. Поэлементный химический состав компонентов

Компонент	Концентрация, мас. %									
	O	Al	Mg	Na	Ca	Fe	Si	C	S	K
Доломитовые высеевки	58	5,1	5,4	0,6	14,9	0,8	15,2	—	—	—
Известняковая мука	58,7	4,7	3,2	1,2	16,8	0,6	14,8	—	—	—
Межсланцевая глина	50,06	7,20	1,04	0,46	10,53	3,35	17,66	7,73	1,83	1,75

Оксид кальция влияет на окраску получаемых изделий и придает им желтый или розовый цвет. Наличие оксида кальция в тонкодисперсном состоянии делает сырье менее чувствительным к сушке, т.е. уменьшает трещинообразование.

© Абдрахимов В.З., Колпаков А.В., 2014

Доломитовые высееки являются отходами Сокского карьера Самарской области. Оксидный химический состав, показывающий повышенное содержание оксида кальция в используемых отходах, представлен в табл. 1, а поэлементный в табл. 2. Исследования показали, что из-за низкой твердости зерен доломита ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) он не может использоваться в качестве мелкого заполнителя для обычных бетонов, но может использоваться в качестве кальцийсодержащего отошителя в производстве кирпича. Повышенное содержание оксида кальция ($\text{CaO} > 30 \%$) в доломитовых высееках будет способствовать спеканию керамического кирпича.

Известняковая мука — отход Жигулевского известкового завода (Самарская область). Оксидный химический состав используемых отходов представлен в табл. 1, а поэлементный в табл. 2. Повышенное содержание оксида кальция ($\text{CaO} > 40 \%$) в известняковой муке также будет способствовать спеканию керамического кирпича.

Известно, что CaO , несмотря на высокую температуру плавления, в глиносодержащих массах является сильным плавнем вследствие образования с Al_2O_3 и SiO_2 сравнительно легкоплавких соединений [1–4]. При температурах около 1000 °C взаимодействие между CaO и глинистыми веществами еще незначительно, а при более высоких температурах реакция интенсифицируется и образуются уплотняющие легкоплавкие соединения, эвтектики и стекла.

Минералогические составы доломитовых высеек и известняковой муки представлены на рис. 1, А и Б.

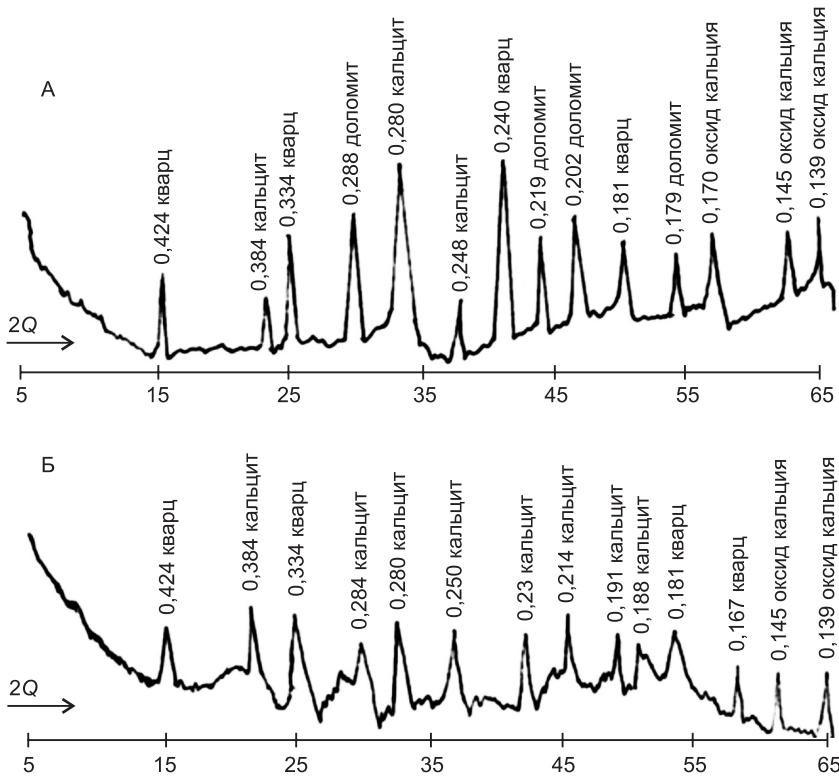


Рис. 1. Рентгенограммы образцов доломитовых высыпок (А); известняковой муки (Б)

Рентгеновский спектр исходного исследуемого образца (см. рис. 1, А) показал в доломитовых высыпках наличие доломита $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ($d/n = 0,179; 0,202; 0,219; 0,288$ нм), кальцита CaCO_3 ($d/n = 0,248; 0,280; 0,384$), оксида кальция CaO ($d/n = 0,139; 0,145; 0,170$) и кварца SiO_2 ($d/n = 0,181; 0,240; 0,334; 0,424$ нм).

Рентгеновский спектр известняковой муки (рис. 1, Б) показал наличие кальцита CaCO_3 ($d/n = 0,188; 0,191; 0,214; 0,230; 0,250; 0,280; 0,284; 0,384$ нм), оксида кальция CaO ($d/n = 0,139; 0,145$) и кварца SiO_2 ($d/n = 0,167; 0,181; 0,334; 0,424$ нм).

В качестве глинистого компонента для производства кирпича использовалась достаточно хорошо изученная межсланцевая глина^{1, 2}. Оксидный химический состав ее представлен в табл. 1, а поэлементный в табл. 2.

Межсланцевая глина образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (на шахтах) и является отходом горючих сланцев. По числу пластичности межсланцевая глина относится к высокопластичному глинистому сырью (число пластичности 27–32) с истинной плотностью 2,55–2,62 г/см³. По огнеупорности она относится к легкоплавким, без интервала спекания с общей усадкой 10,5–11 %.

Известно, что высокопластичные глины с общей усадкой более 10 %, без использования отощителей не пригодны для производства кирпича. При большей усушке в глину нужно добавлять отощители.

Для анализа размера частиц исследуемой межсланцевой глины был проведен металлографический анализ на микроскопе МИН–8М при увеличении в 200 раз (рис. 2).

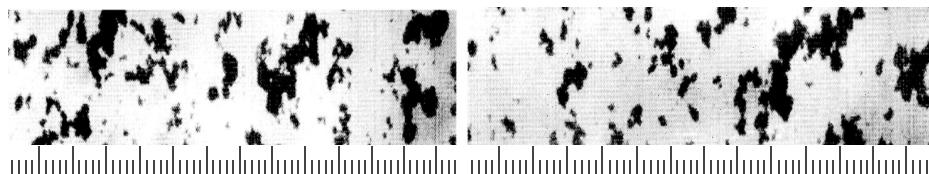


Рис. 2. Металлографический анализ межсланцевой глины

Как видно из рис. 2, в глинистых образцах встречаются включения размером более 2–5 мкм.

Керамическую массу для получения керамического кирпича изготавливали из составов, представленных в табл. 3. Компоненты измельчали до прохождения сквозь сито № 063, после чего тщательно перемешивали и полученную шихту увлажняли до влажности 20–22 %. Из увлажненной шихты пластическим способом формовали образцы в натуральную величину кирпича размером 120×250×65 мм. Сформованные образцы вы-

¹ Абдрахимов В.З., Колпаков А.В. Экологические, теоретические и практические аспекты использования кальцийсодержащих отходов в производстве керамических материалов // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 7. С. 28–36.

² Колпаков А.В., Абдрахимов В.З. Исследование коэффициента вспучивания и фазового состава на различных этапах обжига керамзита из межсланцевой и бейделлитовой глины // Строительство и реконструкция. 2012. № 5. С. 50–58.

Таблица 3. Составы керамических масс

Компонент	Содержание отходов, мас. %						
	1	2	3	4	5	6	7
Межсланцевая глина	100	70	60	50	70	60	50
Доломитовые высыпки	—	30	40	50	—	—	—
Известняковая мука	—	—	—	—	30	40	50

сушивали до остаточной влажности не более 5 %, а затем обжигали при температуре 1050 °C. Изотермическая выдержка кирпича при конечной температуре 1–1,5 часа. Физико-механические свойства обожженных керамических кирпичей представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 3 и 4, с повышением в керамической массе содержания отходителей (отходов производств) формовочная влажность уменьшается, а температура, при которой появляются первые трещины, увеличивается, что положительно влияет на сушильные свойства шихты. Увеличение содержания в керамических массах отходов производств до 40 % способствует повышению физико-механических показателей обожженного кирпича, а при дальнейшем их увеличении — снижаются.

Таблица 4. Физико-механические свойства образцов

Показатель	Составы						
	1	2	3	4	5	6	7
Формовочная влажность, %	28	24	22	20	24	22	20
Температура, при которой появляются первые трещины, °C	60	80	100	120	80	100	120
Общая усадка, %	11	7,7	6,8	5,2	7,8	7,0	5,1
Прочность при сжатии, МПа	12,8	15,5	17,2	16,8	16,4	18,7	17,2
Прочность при изгибе, МПа	2,3	2,9	3,3	3,1	3,0	3,5	3,2
Водопоглощение, %	13,5	10,8	9,8	10,1	10,2	9,4	9,7
Плотность, кг / м ³	1720	1730	1820	1800	1740	1840	1800
Морозостойкость, циклы	34	42	48	43	45	51	48
Теплопроводность, Вт / (м · °C)	0,380	0,404	0,456	0,430	0,435	0,487	0,475

При обжиге керамического кирпича с использованием кальцийсодержащего сырья образуется алюмосиликатный расплав, который в соответствии с современными представлениями состоит из простых катионов (K^+ , Na^+ , Ca^{++} и т.д.) и сложных анионных комплексов типа $Si_xAl_yO_z$ [1, 4]. Кремний и алюмокислородные анионы, будучи крупными агрегатами, образуют большие и малоподвижные комплексы, вследствие чего алюмосиликатные расплавы имеют высокую вязкость [1–4]. Катионы Ca^{++} способствуют частичному переходу (AlO_4) в (AlO_6) и не создают условий для возникновения комплексов групп (AlO_4) и (SiO_4) [1–4]. Поскольку некоторая часть CaO , введенная с кальцийсодержащими сырьевыми материалами, переходит в расплав, то размер и сложность комплексных анионов уменьшается. Изменение строения расплава сопровождается усилением спекания.

Проведенные исследования¹ показали, что при увеличении содержания кальцийсодержащего сырья в керамической массе более 40 % спекание вновь начинает ухудшаться. Это объясняется тем, что увеличение содержания CaO в массе значительно интенсифицирует кристаллизацию аортита [1, 4].

Разложение карбонатов — сложное явление, отдельные стадии которого — диффузия, адсорбция и десорбция. Химические реакции и кристаллические превращения имеют различную природу. В соответствии с этим скорость разложения зависит от многих обстоятельств, в частности от состава газовой фазы, скорости нагрева, размера кусков обжигаемого материала^{3–5}.

Согласно полученным результатам^{6, 7}, разложение доломита протекает в две стадии. Температурный интервал протекания первой стадии диссоциации 743–800 °C, второй — 887–943 °C. В процессе обжига при температуре около 750 °C образуется каустический доломит, который состоит в основном из CaCO₃ и MgO (не менее 15 %). Механизм обжига, спекание известняка, доломитов заключается в том, что мелкие кристаллические зерна под влиянием сил молекулярного сцепления срастаются в кристаллическое тело, при этом часть пор закрывается, далее наблюдается рекристаллизация (рост кристаллов).

При спекании параллельно с рекристаллизацией наблюдается процесс «заживления» кристаллов, имеющих искажения в первоначальной кристаллической структуре, который сопровождается понижением активности вещества. Наглядное представление об этом дают результаты определения температурной зависимости истинной и кажущейся плотности оксида кальция.

В интервале с 950–1050 °C происходит уплотнение, уменьшается пористость, увеличивается размер зерна.

С другой стороны, изменение свойств оксида кальция при нагревании известняка связано с изменением химического потенциала, зависящего от энергии кристаллической решетки этого соединения с характером связи, не отвечающей идеальному ионному распределению зарядов Ca²⁺ и O²⁻ (ковалентность составляет 10 % по Л. Полингу на одну связь Ca—O). При нагревании доля ионной связи в решетке CaO растет и достигает максимума при 1200 °C. Эти данные были получены при помощи метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)⁸.

³ Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Физико-химические процессы структурообразования в керамических материалах на основе отходов цветной металлургии и энергетики. Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2000. 375 с.

⁴ Литвинова Т.И., Пирожкова В.П. Петрография неметаллических включений. М.: Металлургия, 1972. 184 с.

⁵ Стрелец Х.Л., Тайц А.Ю., Гуляницкий Б.С. Металлургия магния. М.: Металлургиздат, 1960. 480 с.

⁶ Белоусов М.В., Ракипов Д.Ф. О сырьевых источниках силикотермического производства магния // Современные техника и технологии: сб. тр. XVI междунар. науч.-практич. конф. студ., асп. и молод. ученых. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. Вып. 3. Т. 2. С. 101–104.

⁷ Белоусов М.В., Муллагулов М.Ф., Ракипов Д.Ф. Исследование механизма диссоциации доломита методом дериватографии // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: тр. Всерос. науч. конф. студ., асп. и молод. ученых. Новокузнецк: СибГИУ, 2010. Вып. 14. Ч. III. С. 112–115.

⁸ Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.

В химически чистых совершенных кристаллах не может наблюдаться парамагнитного резонанса, так как все электронные оболочки заполнены (неспаренные электроны отсутствуют). Однако наличие дефектов или примесей может привести к появлению нескомпенсированных электронов. Анализ спектров ЭПР позволяет сделать некоторые выводы⁸ об энергетическом состоянии дефектов, ионов основной решетки и характере химической связи в исследуемом материале. Следует ожидать, что энергия решетки CaO при этой температуре максимальна, как и ее химический потенциал. Это определяет максимальную реакционную способность извести, полученной обжигом в течение 1 ч при данных условиях обжига⁸. Аналогичная картина наблюдается и при прокаливании доломита.

Таким образом, исследования показали, что для сокращения времени сушки кирпича-сырца в качестве отощителя и плавня при производстве кирпича без применения природных традиционных сырьевых материалов целесообразно использовать кальцийсодержащие отходы, а в качестве глинистого компонента межсланцевую глину (отход добычи горючих сланцев).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдрахимов, В.З. Вопросы экологии и утилизации техногенных отложений в производстве керамических композиционных материалов [Текст] / В.З. Абдрахимов. — Самара : Самар. акад. гос. и муницип. управления, 2010. — 160 с.
2. Абдрахимов, В.З. Экологические и технологические принципы использования золошлакового материала и карбонатного шлама для производства высокомарочного кирпича в Самарской области [Текст] / В.З. Абдрахимов. — Самара : Самар. гос. архит.-строит. ун-т, 2009. — 164 с.
3. Абдрахимов, В.З. Экологические практические аспекты совместного использования отходов черной металлургии и энергетики [Текст] / В.З. Абдрахимов // Энергия: экономика, техника, экология. — 2011. — № 11. — С. 34–39.
4. Куcolev, Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов [Текст] / Г.В. Куcolev. — М. : Высш. шк., 1965. — 364 с.

АБДРАХИМОВ Владимир Закирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru

Самарский государственный экономический университет

КОЛЛАКОВ Александр Викторович, асп.; E-mail: roland.alex@mail.ru

Самарская академия государственного и муниципального управления

Получено после доработки 07.04.14

Abdrakhimov Vladimir Zakirovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: 3375892@mail.ru, Samara State University of Economics, Russia

Kolpakov Aleksandr Viktorovich, post-graduate student; E-mail: roland.alex@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

USE OF CALCIUM-WASTE: DOLOMITE SCREENINGS AND LIME DUST IN BRICKS PRODUCTION

Calcium-waste should be used as nonplastic material and a fluxing agent to reduce drying time of adobe for brick production without the use of traditional natural raw materials, and intershale clay (waste of oil shale) should be used as clay component.

Key words: ceramic brick, intershale clay, industrial wastes, ecology, temperature of burning, physical and mechanical parameters.

REFERENCES

1. А б д р а к х и м о в, В.З. Questions of ecology and utilization of technogenic deposits in production of ceramamic composite materials [Text] / V.Z. Abdrakhimov. — Samara : Samara Academy State and Municipal Management, 2010. — 160 p.
 2. А б д р а к х и м о в, В.З. Ecological and technological principles of cinder material and carbonate sludge use to produce of high-strength brick in Samara Region [Text] / V.Z. Abdrakhimov. — Samara : Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2009. — 164 p.
 3. А б д р а к х и м о в, В.З. Ecological and practical aspects of combined use of ferrous metallurgy and power industry waste [Text] / V.Z. Abdrakhimov // Energy : economy, technique, ecology. — 2011. — N 11. — P. 34–39.
 4. К у к о л е в, Г.В. Silicon chemistry and physical chemistry of silicates [Text] / G.V. Kukolev. — M. : High. school, 1965. — 364 p.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.921.2

В.И. БОДРОВ, М.Н. КУЧЕРЕНКО, В.В. СУХОВ

ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗДУХООБМЕНА В ПОДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ*

Представлены результаты теоретических, лабораторных и натурных исследований интенсивности естественной вентиляции в подземных пешеходных переходах. Воздухообмен в тоннелях переходов качественно и количественно определяется на основе теории пограничного слоя. Создание и поддержание допустимых параметров микроклимата в подземных переходах в холодный период года возможно только механической вентиляцией с подогревом приточного наружного воздуха.

Ключевые слова: подземный пешеходный переход, теория пограничного слоя, интенсивность естественной вентиляции, коэффициент обеспеченности воздухообмена.

Необходимость определения интенсивности естественного воздухообмена в подземных пешеходных переходах под автомобильными дорогами вызвана тенденцией расширения функционального назначения переходов из-за обустройства в них постоянных рабочих мест (торговые точки и т.п.). Приводимые теоретические, лабораторные и натурные исследования по определению расхода воздуха в тоннелях относятся к переходам, имеющим наиболее простые объемно-планировочные решения. При расчетах, моделировании и в натурных условиях исследовались переходы с длиной тоннелей до 20,0 м, поперечным сечением тоннелей $F_t = 6,0 \times 3,0$ м, глубиной заложения (отметка пола) — 5,0 м. Входы-выходы переходов (порталы) расположены под прямым углом к оси тоннелей.

Воздухообмен в тоннелях переходов происходит за счет естественных перепадов давлений (рис. 1). Вентиляция (аэрация) тоннелей осуществляется за счет гравитационного $\Delta p_t = h_t(\rho_h - \rho_v)g$, Па, и ветрового $\Delta p_v = v_b^2 \rho_h / 2$, Па, давлений или их алгебраической суммы, равной полному естественному давлению $\Delta p_e = \Delta p_t + \Delta p_v$, Па. Здесь h_t — глубина заложения тоннеля, м; ρ_h и ρ_v — плотность наружного воздуха и воздуха в тоннеле, кг/м³; v_b — расчетная скорость наружного воздуха, м/с.

* Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование теплофизических закономерностей переноса теплоты и влаги в неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданиях» с финансированием из средств Минобрнауки России, в рамках базовой части государственного задания на научные исследования.

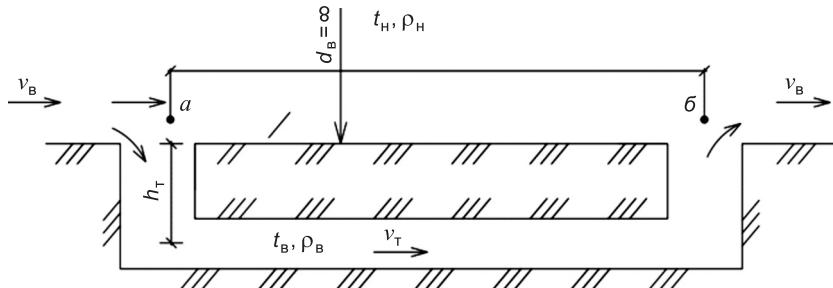


Рис. 1. Расчетная схема тоннеля подземного перехода

Проанализируем качественные и количественные показатели перепадов давлений, вызывающих устойчивое перемещение воздуха в переходах в круглогодичном цикле эксплуатации.

Значения гравитационного давления со стороны левого и правого порталов (входов-выходов) равны. Градиент давления, вызывающий перемещение воздуха по тоннелю Δp_t , отсутствует. Разность температуры воздуха внутри и снаружи тоннеля ($t_B - t_H$) и, соответственно, разность плотности воздуха ($\rho_H - \rho_B$) знакопеременны по периодам года. Поэтому гравитационную составляющую Δp_t нельзя рассматривать в качестве устойчивого побудителя движения воздуха в тоннелях переходов.

Расчет подвижности воздуха в тоннелях по методу удельных потерь давления приводит к неопределенности. При отсутствии внешних местных сопротивлений потоку атмосферного воздуха на расстоянии l , м, между порталами (между точками a и b , рис. 1) перепад давления, вызывающий движение воздуха в тоннеле Δp_v , является функцией потерь давления наружного воздуха (с коэффициентом трения λ о землю), т.е. $\Delta p_v = Rl = (\lambda l / d_B)(v_H^2 \rho_H / 2)$, Па. Градиент давления Δp_v отсутствует, так как $d_B \rightarrow \infty$, а величина $Rl \rightarrow 0$.

Качественно и количественно расход воздуха в тоннеле перехода обосновывается при рассмотрении динамики движения жидкости в пограничном слое. Картина обтекания полуограниченной плоской пластины потоком вязкой жидкости при линиях тока невозмущенного потока u_∞ , параллельных пластине, показана на рис. 2.

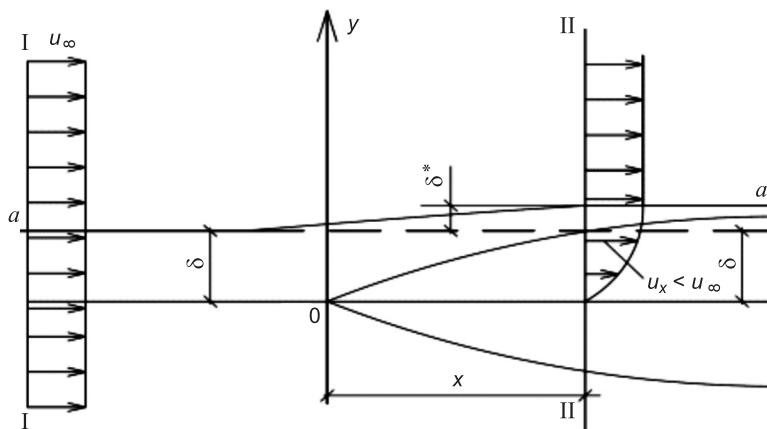


Рис. 2. Линии тока жидкости при обтекании плоской пластины

В произвольном сечении II-II потока на расстоянии x от входной кромки пластины толщина пограничного слоя составляет δ . Расход воздуха левее точки 0 (сечение I-I), равный $u_\infty \delta$, будет всегда больше расхода в сечении II-II в слое $y = \delta$ правее оси 0-y, так как в пограничном слое скорость меняется от $u_x = 0$ до $u_x = u_\infty$. Для прохождения через сечение II-II того же расхода воздуха, что и через сечение I-I, необходимо увеличить сечение потока. Поэтому линия тока $a-a$ должна отклониться от своего начального положения на величину δ^* .

Величина δ^* называется толщиной вытеснения и определяется из равенства расходов в сечениях I-I и II-II [1]:

$$u_\infty \delta = u_\infty \delta^* + \int_0^\delta u_x dy,$$

где $u_\infty \delta^*$ — расход в сечении II-II в слое толщиной δ^* ;

$\int_0^\delta u_x dy$ — то же, в слое толщиной δ .

В конечном виде она равна:

$$\delta^* = \int_0^\delta (1 - u_x / u_\infty) dy. \quad (1)$$

Значение, определяемое интегралом $\delta^{**} = \int_0^\infty \frac{u_x}{u_\infty} \left(1 - \frac{u_x}{u_\infty}\right) dy$, называется

толщиной потери импульса. Оно характеризует ту часть количества движения жидкости, которая теряется в пограничном слое толщиной δ из-за действия сил трения в пределах слоя [1]:

$$\rho u_\infty^2 \delta^{**} = \int_0^\delta \rho u_x (u_\infty - u_x) dy. \quad (2)$$

Часть воздуха, характеризующаяся величиной толщины вытеснения δ^* , поступает в тоннель перехода. Количественно величина движущей силы воздухообмена соответствует толщине потери импульса δ^{**} . Таким образом, зависимость (1) характеризует расходные показатели потоков воздуха в тоннеле, а величина (2) движущую силу переноса.

Решение уравнений (1) и (2) предъявляет жесткие требования к точности экспериментального определения значений потери импульса δ^{**} и толщины вытесняющего слоя δ^* . Становится бессмысленным их определение, если ошибка точности эксперимента соизмерима с измеренными количественными показателями по абсолютной величине. Поэтому снижается ценность численных решений (1) и (2). В то же время, используя теорию пограничного слоя, появилась возможность провести полный качественный анализ физических явлений, определяющих интенсивность воздухообмена в тоннелях подземных переходов.

На поверхностях обтекаемых воздухом тел используется понятие относительного давления. Если в качестве избыточного давления на поверхности принимать манометрическое давление $p_{\text{ман}} = p - p_{\text{ат}}$, то относительное давление называется аэродинамическим коэффициентом:

$$c_v = p_{\text{ман}} / (\rho u_\infty^2 / 2), \quad (3)$$

где $\rho u_\infty^2 / 2$ — динамическое давление невозмущенного потока, Па.

Независимо от числа Re аэродинамический коэффициент является функцией только формы препятствия и его расположения по отношению к направлению набегающего невозмущенного потока.

Количество перемещаемого по тоннелю воздуха определялось экспериментально путем замеров значений аэродинамических коэффициентов на фронтальной (наветренной) и кормовой (задней) сторонах модели перехода (M 1:200) при ее продувке в аэродинамической трубе. Результаты лабораторных исследований приведены в [2].

Исследования проводились при отсутствии внешних препятствий потоку воздуха вдоль оси модели и при их наличии. В качестве препятствий использовались сплошные преграды и воздухопроницаемые преграды (сетки, имитирующие кусты, деревья) различной высоты, устанавливаемые под углами $\alpha = 0^\circ; 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ$ к оси модели. Средняя скорость воздуха на рабочем столе варьировалась до 10,0 м/с. Полученные экспериментальные результаты скорости воздуха в тоннеле модели v_t , м/с, представлены в [2] полиномиального уравнения $v_t = a\alpha^4 + b\alpha^3 + c\alpha^2 + d\alpha + e$.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что основным направлением повышения интенсивности естественной вентиляции (аэрации) тоннелей за счет ветрового давления является возвведение сплошных искусственных плоских препятствий движению атмосферного воздуха у каждого портала (позиция 1 на рис. 3). Они устанавливаются со стороны автомобильных трасс перпендикулярно оси тоннеля.

Поток воздуха, обтекающий препятствие высотой h , м, делится на две области течения с границей по линии $a-a$, проходящей через точку отрыва A. За препятствием ниже линии $a-a$ располагается область течения с отрицательным аэродинамическим коэффициентом

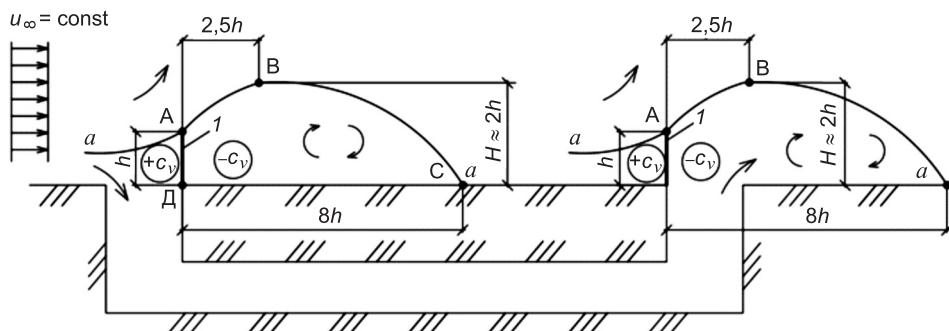


Рис. 3. Схема формирования зон аэродинамических коэффициентов

($-c_v$). Выше линии $a-a$ поток воздуха невозмущенный. Максимальная высота области отрывного течения $H \approx 2h$, м, максимальная длина этой области (отрезок DC) приблизительно $8h$, м, горизонтальное расстояние от точки А до точки В составляет $2,5h$, м. При фронтальном обтекании препятствия на наветренной стороне $c_v = 0,5...0,8$, на заветренной $c_v = -0,2...-0,3$ [1, 3].

Натурные замеры интенсивности воздухообменов проводились в тоннелях переходов в холодный и теплый периоды в г. Нижнем Новгороде. Над тоннелями отсутствовали какие-либо препятствия. Результаты натурных замеров подвижности воздуха в тоннелях сопоставлены с лабораторными значениями скоростей в модели перехода и нанесены на график (рис. 4). Скорости воздуха в модели и в реальных переходах находятся в одном численном диапазоне (заштрихованная область) при сопоставимых скоростях обдува модели и атмосферного воздуха. На рис. 4 режим I соответствует скорости воздуха на рабочей площадке аэродинамической трубы $v_{tp} \approx 10,0$ м/с, режим II — скорости $v_{tp} \approx 8,0$ м/с, режим III — скорости $v_{tp} \approx 6,0$ м/с, режим IV — скорости $v_{tp} \approx 3,0$ м/с.

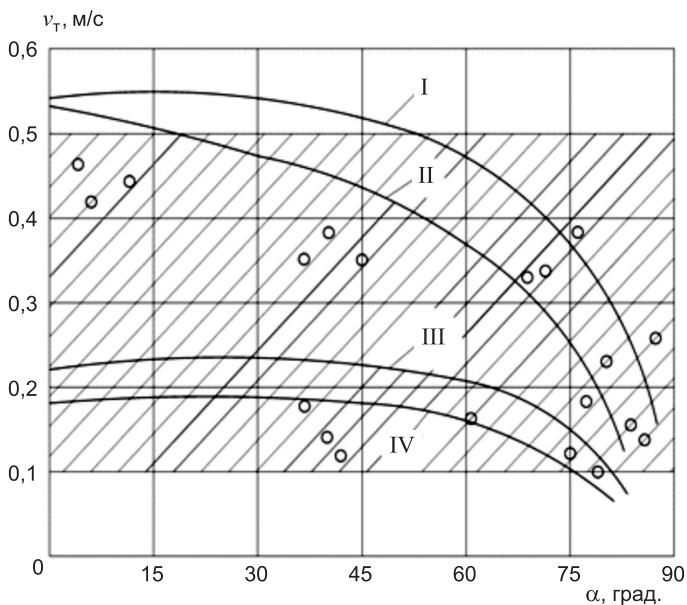


Рис. 4. Сопоставление натурных и лабораторных исследований интенсивности воздухообменов в тоннелях переходов

Для количественной оценки эффективности естественной вентиляции тоннелей переходов принят коэффициент обеспеченности воздухообменов $K_{ob} = (N - n)/N$, показывающий долю общего числа случаев ($N - n$), не допускающих уменьшения расхода воздуха ниже заданного (расчетного). За расчетную принята подвижность воздуха в тоннеле $v_t = 0,2$ м/с. Тогда расход воздуха в обследованных тоннелях L_p , м³/ч, составляет $L_p = v_t F_t \cdot 3600 = 0,2 \cdot 6,0 \cdot 3,0 \cdot 3600 = = 12\ 960$ м³/ч.

С учетом розы ветров для г. Нижнего Новгорода получены графоаналитические зависимости коэффициентов $K_{об}$, доли, естественных воздухообменов в переходах в июле и январе. Изучаемые подземные переходы имеют приведенное выше простейшее объемно-планировочное решение, не имеют внешних препятствий у порталов. Ориентация осей тоннелей: С–Ю; В–З; СВ–ЮЗ; СЗ–ЮВ. Расчетный расход воздуха в тоннелях принят равным $L_p = 12\ 960 \text{ м}^3/\text{ч}$ при подвижности воздуха $v_t = 0,2 \text{ м/с}$. На рис. 5 в качестве примера приведены зависимости величины $K_{об}$ естественных воздухообменов при ориентации оси тоннеля С–Ю для теплого и холодного периодов года.

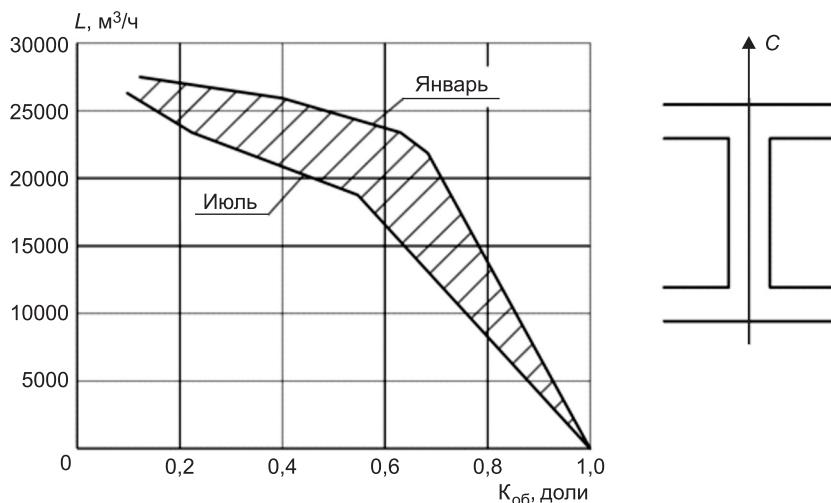


Рис. 5. Обеспеченность воздухообмена при ориентации оси тоннеля С–Ю

Обобщенные значения коэффициентов $K_{об}$ сведены в таблицу, где приведены максимальные возможные значения $K_{об}$ за счет естественных источников энергии (ветрового давления) в тоннелях переходов при расчетной скорости ветра в регионе. Реальные величины коэффициентов лежат в пределах от нуля до приведенных в таблице. Установка внешних препятствий (см. рис. 3) для возможного увеличения (до 3,0...4,0 раз) поступающего в тоннель воздуха в реальных условиях рационально и возможно только в исключительных случаях. В то же время такое довольно сложное инженерное сооружение не может стабильно увеличить коэффициент обеспеченности $K_{об}$ из-за переменных значений скорости и направления ветра. Возведение более сложных по объемно-планировочным решениям пешеходных переходов по сравнению с исследованными сопровождается снижением величины естественного воздухообмена и, соответственно, максимальной величины коэффициента обеспеченности, приведенного в таблице.

Коэффициент обеспеченности естественного воздухообмена $K_{об}$, доли, для г. Нижнего Новгорода

Период года	Ориентация оси тоннеля			
	С–Ю	В–З	СВ–ЮЗ	СЗ–ЮВ
Теплый (июль)	0,81	0,76	0,78	0,75
Холодный (январь)	0,88	0,79	0,86	0,77

Создание постоянных рабочих мест в подземных пешеходных переходах при формировании допустимых параметров микроклимата за счет естественных источников энергии не может быть рекомендовано. Естественная вентиляция (аэрация) не обеспечивает устойчивую круглогодичную подачу минимального количества наружного воздуха. В холодный период года для поддержания температурного режима в тоннелях необходимо устройство на входах-выходах дверей или турникетов, что исключает их естественное вентилирование. Создание допустимых температурно-влажностных и воздушных режимов возможно только механической приточно-вытяжной вентиляцией с подогревом приточного воздуха.

Выводы. Допустимые температурно-влажностные и воздушные режимы подземных пешеходных переходов при наличии в них постоянных рабочих мест необходимо проектировать как для самостоятельного класса сооружений. Обязателен учет объемно-планировочных решений и аэродинамических характеристик переходов, климатических показателей регионов, нестационарных процессов тепломассообмена между воздухом тоннелей и окружающим грунтом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика [Текст] / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. — М. : Стройиздат, 1987. — 414 с.
2. Бодров, В.И. Формирование параметров микроклимата в подземных пешеходных переходах [Текст] / В.И. Бодров, В.В. Сухов // Сб. докл. «Третья международная научно-техническая конференция». — М. : МГСУ, 2009. — С. 198–201.
3. Реттер, Э.И. Аэродинамика зданий [Текст] / Э.И. Реттер, С.И. Стриженов. — М. : Стройиздат, 1984. — 294 с.

БОДРОВ Валерий Иосифович, д-р техн. наук, проф.

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
КУЧЕРЕНКО Мария Николаевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kucherenk_maria@mail.ru*

Тольяттинский государственный университет

*СУХОВ Вячеслав Васильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kov@ngasu.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 07.04.14

Bodrov Valeriy Iosifovich, doctor of technical sciences, professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kucherenko Maria Nikolaevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kucherenk_maria@mail.ru, Togliatti State University, Russia

Sukhov Vyacheslav Vasilievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

INTENSITY OF NATURAL AIR EXCHANGE IN UNDERGROUND CROSSWALKS

Results of theoretical, laboratory and natural researches of intensity of natural ventilation in underground crosswalks are presented. Air exchange in tunnels of transitions qualitatively and quantitatively is defined on the basis of the interface theory. Creation and maintenance of

admissible parameters of a microclimate in subways during the cold period of year probably only mechanical ventilation with heating of stitched external air.

Key words: underground crosswalk, interface theory, intensity of natural ventilation, coefficient of security of air exchange.

REFERENCES

1. Altshul, A.D. Gidravlika and aerodynamics [Text] / A.D. Altshul, L.S. Zhivotnovsky, L.P. Ivanov. — M. : Stroyizdat, 1987. — 414 p.
 2. Bodrov, V.I. Formation of parameters of a microclimate in underground foot crosswalks [Text] / V.I. Bodrov, V.V. Sukhov // The collection of reports «Third international scientific and technical conference». — M. : MSUCE, 2009. — P. 198–201.
 3. Retter, E.I. Aerodinamika of buildings [Text] / E.I. Retter, S.I. Strizhenov. — M. : Stroyizdat, 1984. — 294 p.
-

УДК 628.143

Е.М. ГАЛЬПЕРИН

ЕЩЕ РАЗ О НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

На примере показано, что требования к надежности водопроводной сети, сформулированные в актуализированной редакции СНиП 2.04.02-84 (СП 31.13330.2012), недостаточно полны. Это обстоятельство предопределяет, что при выполнении всех требований СНиП 2.04.02-84 запроектированная водопроводная сеть будет обладать низкой надежностью водоснабжения. Отмечается, что в выпущенном в 2010 г. учебнике «Водоснабжение» раздел, посвященный надежности водопроводной сети, написан с грубыми ошибками.

Ключевые слова: надежность, водопроводная сеть, СНиП 2.04.02-84.

Надежности функционирования водопроводной сети всегда уделялось особенное внимание как потребителями, так и специалистами. В частности, это нашло свое выражение в том, что раздел СНиП [1], посвященный объектам транспорта воды, содержит целый ряд требований, вызванных потребностью в надежности водоснабжения, таких как кольцевание водопроводных сетей, регламент времени ремонта и т.д. Подобного внимания вопросам надежности не содержит ни один раздел СНиП [1]. С появлением и развитием теории надежности многократно делаются попытки использовать ее аппарат для решения надежностных вопросов в системе водоснабжения. Надежность весьма многогранное явление и наблюдается в той или иной степени на всех этапах службы объекта. Естественно, это положение полностью относится к сооружениям систем водоснабжения.

На этапе строительства надежность проявляется в тщательном выполнении требований технологии строительных работ, скрупулезном выполнении всех указаний и положений проекта, использовании высококачественного строительного материала и всех комплектующих, предусмотренных проектом и т.д.

Многообразны требования надежности на этапе эксплуатации сооружений систем водоснабжения. В первую очередь это выполнение в срок, в полном объеме требования технического обслуживания, своевременное и качественное проведение профилактических и ремонтных работ, в том числе реновации объектов, которые исчерпали свой назначенный ресурс и т.д.

Однако следует признать, что проектирование — важнейший из всех этапов. При проектировании любого объекта первостепенное значение придается его функциональному назначению. В процессе проектирования вырабатывается четкость в определении функций отдельных сооружений и систем, формулируются критерии их выполнения в отдельные моменты работы (мгновенные или точечные показатели) и за установленные периоды времени (интегральные или временные показатели). Эти показатели в дальнейшем фиксируются в нормативных документах и явля-

ются обязательными для исполнения при проектировании. В ходе проектирования в конструкцию сооружений и системы закладывается разного вида резервирование для обеспечения необходимого уровня надежности на последующих этапах их существования. Как же существующий нормативный документ [1] обеспечивает в проектах водопроводной сети надежное обеспечение потребителя водой?

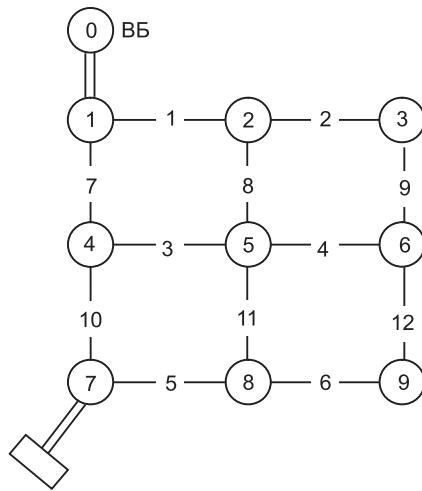


Рис. 1. Схема четырехкольцевой водопроводной сети

Рассмотрим решение этой задачи на примере весьма простой кольцевой водопроводной сети, изображенной на рис. 1. Предположим, что диктующим узлом (точкой) является узел 3. В нем в период максимального часового расхода суток максимального водопотребления требуемый свободный напор H_{tp} равен расчетному свободному напору H_p , т.е. $H_{tp} = H_p$. Предположим, что на участке 9 произошла авария и его выключили, в результате чего в узле 3 расчетный напор понизился, т.е. $H_p < H_{tp}$. В этих условиях в узле 3 потребители (все или частично) не получают нормально воду на период отключения (ремонта) участка 9. Согласно [1] ремонт может длиться до 24 ч

(табл. 25 [1]). В реальности он может длиться дольше — до 3 сут (см. примеч. 2 к табл. 25), а с учетом необходимости дезинфекции трубопровода после ликвидации аварии еще 1/2 сут (см. примеч. 3 к табл. 25). Итого потребители могут быть без воды 3,5 сут.

Допустим, линию 9 починили и включили в работу, но через некоторое время авария произошла на линии 2, снова в узле 3 $H_p < H_{tp}$, и потребители (все или частично) без воды около 3,5 сут. После восстановления линии 2 не исключено, что откажет линия 1 и вновь в узле 3 $H_p < H_{tp}$. Очевидно, что ситуация в узле 3, при которой $H_p < H_{tp}$ будет происходить $\lambda \cdot \sum_{r=1}^k \ell_i$ раз в течение года, где $\sum \ell_i$ — суммарная длина линий водопро-

водной сети, выключение каждой из них создаст в узле 3 положение, при котором $H_p < H_{tp}$; λ — параметр потока отказов трубопроводов водопроводной сети или количество отказов в течение года на 1 км сети. Всего же потребитель будет в узле 3 без воды $t_p \cdot \lambda \cdot \sum_{r=1}^k \ell_i$ суток в течение года,

где t_p — средняя продолжительность ремонта.

В [2] приведен аналогичный расчет для схемы водопроводной сети, использованной в качестве примера в учебной литературе [3]. В этом примере при $\lambda = 1 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}}$ и времени ремонта 1,5 сут (условия существен-

но жестче, чем допускает [1]) потребитель месяц в течение года в диктующем узле не получает нормальную воду. При этом все требования СНиП соблюдены.

То, что требования надежности водопроводной сети в СНиП недостаточны и их необходимо дополнить средним в течение года временем нормального T_n и сниженного T_c уровня функционирования, содержалось в работе [4]. Вновь на это было обращено внимание в статье Е.М. Гальперина¹. Сопровождающие эту статью комментарии разработчика соответствующего раздела СНиП проф. Л.Ф. Мошнина² не содержали конкретных данных, подтверждающих его высказывания, и были в значительной степени голословны. Утверждение³, что в существующих водопроводных сетях надежность обеспечивается за счет создания резерва пропускной способности трубопроводов, т.е. увеличения диаметров труб и снижения скорости движения воды в них, было далее подтверждено в статье С.В. Храменкова⁴, в которой признается, что в ряде районов Москвы наблюдаются низкие скорости движения воды по трубопроводам в течение суток — в основном 0,01–0,2 и реже 0,3 м/с (при снижении водопотребления с 1995 по 2000 г. только на 20 %).

И вот нам предлагают так называемую актуализированную редакцию СНиП 2.04.02–84* с новым дополнительным названием «Свод правил (СП 31.13330.2012)», где вновь отсутствуют показатели надежности. А между тем существует приказ № 48 от 14 апреля 2008 г. «Об утверждении Методики проведения мониторинга выполнения производственных и инвестиционных программ организаций коммунального комплекса», подписанный тогдашним Министром Минрегиона РФ Д. Козаком. К методике есть ряд приложений, в частности Приложение № 1 «Показатели и индикаторы для проведения мониторинга выполнения производственных программ и инвестиционных программ в сфере водоснабжения». В Приложении № 1 для инвестиционных программ в разделе 2.1 «Надежность (бесперебойность) снабжения потребителей товарами (услугами)» имеется такой показатель, как 2.1.3 «Количество часов представления услуг за отчетный период, часов». По сути это аналог параметра T_n , предлагаемого в [4]. Методика и приложения, обнародованные приказом № 48 Минрегиона РФ, охватывают обширный комплекс вопросов развития систем коммунальной инфраструктуры. Не могу судить об успехах в других задачах, поставленных приказом № 48, но в части внедрения предложенных им показателей и индикаторов для водопроводной сети можно засвидетельствовать полный провал, ибо в актуализированной редакции СНиП нет и намека на эти показатели. Кафедра водоснабжения и водоотведения нашего университета не один десяток лет ведет расчет водопроводных сетей с учетом показателя T_n , использование которого требует навыка по сравнению с существующей методикой и порядком гидравлического расчета водопроводных сетей⁵. Наши предложения в Минрегион

¹ Гальперин Е.М. Методика расчета кольцевых СПРВ и соответствующие разделы СНиП 2.04.02–84 не отражают реальность и требования жизни // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 8.

² Мошнин Л.Ф. Ускорить корректировку нормативов по проектированию и эксплуатации систем водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 8.

³ Гальперин Е.М. Надежность и экономичность кольцевых водопроводных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 1991. № 5.

⁴ Храменков С.В. Принципы обеспечения надежности водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 5, ч. 2.

⁵ Гальперин Е.М. Совершенствование расчетной модели функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 2.

РФ оказать содействие по внедрению этих показателей были обращены в космическую бездну, остались без ответа. Ни такой ли «работой» Мин-региона РФ объясняются «успехи» в реформировании коммунального хозяйства страны?

Вообще некоторые обстоятельства появления нового СНиП непонятны и хотелось бы их прояснения. Почему актуализация СНиП 2.04.02–84* была поручена ООО «Росэкострой», организации недавно появившейся и особенно себя не зарекомендовавшей, а такие коллектизы, как «Союзводоканалпроект», «МосводоканалНИИпроект», НИИ коммунального водоснабжения и очистки вод АКХ им. К.Д. Панфилова, которые существуют не один десяток лет, имеют огромный опыт проектирования и исследования водопроводно-канализационных хозяйств городов и предприятий, являвшиеся разработчиками предыдущей редакции СНиП 2.04.02–84, оказались в стороне? Не берусь судить о других разделах актуализированного СНиП, но близкий мне раздел «Водоводы, водопроводные сети и сооружения на них» практически скопирован с предыдущей редакции. Неужто за 30 лет в этой области не появилось ничего нового? Процедура создания нового СНиП в условиях значительной коррупции в стране требует большей прозрачности.

С появлением теории надежности этому вопросу в исследованиях водопроводной сети стали уделять повышенное внимание, в 1973 г. по инициативе проф. Н.Н. Абрамова было созвано всесоюзное совещание на эту тему. Со временем раздел надежности систем водоснабжения появился в учебнике по водоснабжению, предназначенному для подготовки инженеров этой специальности. Остановимся на главе 15, посвященной надежности учебника «Водоснабжение»⁶, в которой проф., д-ром техн. наук О.Г. Приминым написано: «... любая реальная система водоснабжения может пребывать в следующих основных (расчетных) состояниях:

- а) исправное — система может выполнять функции водообеспечения потребителей на заданном нормальном расчетном уровне;
- б) неисправное — система может выполнять функции водообеспечения потребителя на уровне, сниженном по сравнению с нормальным расчетным, но не ниже установленного нормами допустимого предела;
- в) неработоспособное (состояние отказа) — система не может выполнять функции водообеспечения потребителям на нормальном расчетном или допустимом пониженном уровне».

Предложенный проф. О.Г. Приминым перечень состояний не соответствует тому, что имеется в нормативной литературе по надежности.

В ГОСТ 27.002–83 приведена схема основных состояний и событий (рис. 2).

Здесь же в ГОСТ дается пояснение: «Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно-технической и(или) конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению. Очевидно, что **рабочоспособный объект может быть неисправным**, например, не удовлетворять эстетическим требованиям, если ухудшение внешнего вида объекта не препятствует его применению по назначению.

⁶ Сомов М.А., Журба М.Г. Водоснабжение. Т. 1. Системы забора, подачи и распределения воды: учебник для вузов. М.: АСВ, 2010.



Рис. 2. Возможные состояния системы

1 — повреждение; 2 — отказ; 3 — переход объекта в предельное состояние из-за неустранимого нарушения требований безопасности, снижения эффективности эксплуатации, морального старения и других факторов; 4 — восстановление; 5 — ремонт

...Если объект переходит в неисправное, но работоспособное состояние, то это событие называют повреждением, если объект переходит в неработоспособное состояние, то это событие называют отказом».

Пользуясь перечнем состояний, предлагаемым проф. О.Г. Приминым, рассмотрим ситуацию, при которой эксплуатируется водопроводная сеть с протяженностью трубопроводов, например, 400 км. При величине параметра потока отказов $\lambda = 1 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}}$ в такой сети произойдет

$$400 \text{ км} \cdot 1 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}} = 400 \text{ аварий за год}, \text{ т.е. практически в исправном}$$

состоянии в течение года она находиться не будет. Следовательно, согласно предложенному проф. О.Г. Приминым перечню состояний, такая сеть, находящаяся в неисправном состоянии практически в течение года, выполнять функции водообеспечения потребителей на заданном «нормальном расчетном уровне», естественно, не сможет. Реальные сети, имеющие несколько сот и более километров трубопроводов, в исправном состоянии практически не бывают. По данным⁷ центральной диспетчерской г. Куйбышева (ныне г. Самара) об отключении участков трубопроводов диаметром 400 мм и более (суммарная длина 219,53 км) в течение полугода (180 дней) сеть только один день была в исправном состоянии.

Имеются и другие замечания по вопросам, изложенными проф. О.Г. Приминым в учебнике «Водоснабжение».

Часть 5 учебника, содержащая единственную главу 15, написанную проф. О.Г. Приминым, озаглавлена «Надежность систем водоснабжения», а глава 15 названа «Общие требования к надежности систем транспорта воды и инженерные методы ее обеспечения». Во-первых, каждому, знакомому с системами водоснабжения, известно, что они содержат не только «системы транспорта воды», но и значительное число других сооружений. Во-вторых, «система транспорта воды» в большинстве случаев

⁷ Гальперин Е.М. Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 6.

немыслима без насосных станций, по вопросам надежности которых имеется соответствующая литература. В учебнике же о надежности насосных станций нет ни слова.

В нормативной литературе по определению понятий и терминов надежности отмечаются такие ее свойства, как безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость. Проф. О.Г. Примин добавил **живучесть и безопасность**, не поясняя, что означают эти свойства, какие их показатели и в каких единицах они измеряются. Мне не удалось в соответствующей литературе по надежности обнаружить такие свойства.

Раздел 15.3 назван «Инженерные методы обеспечения надежности водопроводных сетей» и имеет подразделы 15.3.1 «Защита трубопроводов от внешней коррозии» и 15.3.2 «Основные методы санации трубопроводов». Надежность является важнейшим свойством каждого объекта и любое мероприятие направлено на ее поддержание, в том числе наряду с другими защита трубопроводов от коррозии и методы их санации. Но все же следует признать, что основные инженерные методы обеспечения надежности водопроводной сети разрабатываются на этапах проектирования использованием разного вида резервирования. Об этом в учебнике нет ни слова.

Чтение части 5 «Надежность систем водоснабжения» учебника оставляет тягостное впечатление от весьма низкого уровня раскрытия темы и изложения. К сожалению, в какой-то степени аналогичное положение характеризует состояние с использованием аппарата теории надежности в решении этих вопросов в системе водоснабжения. Тому свидетельство судьба приказа № 48 Минрегиона РФ в части внедрения показателей надежности систем водоснабжения (и водоотведения также).

Выводы. В действующий СНиП 2.04.02–84 (СП 31.13330.2012) следует включить показатели надежности коммунальной системы водоснабжения. Этими показателями могут быть среднее время нормального обеспечения потребителя водой $T_h = 0,98 \div 0,97$ годового периода и допущение снижения нормального уровня до определенного предела $T_h + T_c$ до $0,985 \div 0,99$ годового периода. Эти показатели соответствуют тому уровню, который существует на практике и достигается в основном за счет избыточной пропускной способности труб, т.е. безрасчетным увеличением диаметра. Включение таких показателей в нормативный документ будет стимулировать работы по совершенствованию надежностных расчетов, достижения заданного уровня надежности использованием более экономичных и рациональных видов резервирования и методов расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.02–84 (СП 31.13330.2012). Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. — М., 2012.
2. Гальперин, Е.М. Надежностные расчеты кольцевых водопроводных сетей [Текст] / Е.М. Гальперин // Водоснабжение и санитарная техника. — 2003. — № 8.
3. Абрамов, Н.Н. Расчет водопроводных сетей [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1976.
4. Гальперин, Е.М. Надежность функционирования кольцевой водопроводной сети [Текст] / Е.М. Гальперин // Водоснабжение и санитарная техника. — 1987. — № 4.

ГАЛЬПЕРИН Евгений Моисеевич, канд. техн. наук, проф.; E-mail:evg-galperin@yandex.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 18.04.14

Galperin Eugeniy Moiseevich, candidate of technical sciences, professor;
E-mail:evg-galperin@yandex.ru, Samara State of Architectural and Civil Engineering
University, Russia

ONCE AGAIN ABOUT THE RELIABILITY OF FUNCTIONING WATER NETWORK

The example shows that the requirements for the reliability of the water supply network, formulated updated edition SNiP 2.04.02–84 (SP 31.13330.2012) is not complete. This fact determines that, if all the requirements of SNiP 2.04.02–84 are met, projected water supply system will have low reliability of supply. Notes that in 2010 released the textbook «Water Supply», section on water supply network reliability, written with blunders.

Key words: reliability, water supply network, SNiP 2.04.02–84.

REFERENCES

1. SNiP 2.04.02–84 (SP 31.13330.2012). Water Supply. External networks and facilities [Text]. — M., 2012.
 2. Galperin, E.M. Reliability calculations annular water networks [Text] / E.M. Galperin // Water supply and sanitary engineering. — 2003. — N 8.
 3. Abramov, N.N. Calculation of water supply networks [Text]: a textbook for high schools / N.N. Abramov, M.M. Pospelova. — 3rd ed., rev. and add. — M.: Stroyizdat, 1976.
 4. Galperin, E.M. The operational reliability of the water supply network ring [Text] / E.M. Galperin // Water supply and sanitary engineering. — 1987. — N 4.
-

УДК 628.16.081.32

А.Н. КИМ

ПРОБЛЕМЫ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ ПУТЕМ ДООБРАБОТКИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ У ПОТРЕБИТЕЛЯ

Рассмотрена актуальная проблема необходимости доочистки (дообработки) водопроводной воды для питьевых целей у потребителя. Это связано с тем, что водопроводная вода, проходя по городским трубам, находящимся в неудовлетворительном состоянии, повторно загрязняется физико-химическими и бактериологическими ингредиентами; этому также способствует большая продолжительность пребывания воды в системе подачи воды из-за резкого уменьшения удельного водопотребления. Представлена методика модификации активированных углей фуллеренами. Разработана методика исследования исходных и модифицированных березового и кокосового активированных углей фильтрованием. В качестве контролируемых показателей выбраны окисляемость, цветность, содержание железа в исходной и обработанной воде. Приведены результаты сравнительных лабораторных испытаний модифицированного и исходного активированного угля при дообработке водопроводной воды. Разработана оригинальная методика регенерации отработанных активированных углей с применением гипохлорита натрия. Подтверждены бактерицидные свойства активированного угля, модифицированного фуллеренами. Получены зависимости продолжительности фильтроцикла и эффективности доочистки водопроводной воды на фильтрах с березовым активированным углем, модифицированным фуллеренами.

Ключевые слова: активированный уголь, модифицированный фуллеренами, фильтровальная установка, окисляемость, концентрация железа, цветность, регенерация угля, гипохлорит натрия.

Список обозначений:

- АУ^{бер} — активированный березовый уголь марки БАУ-А;
АУМ^{бер} — активированный березовый уголь марки БАУ-А, модифицированный фуллеренами;
АУ^к — активированный кокосовый уголь;
АУМ^к — активированный кокосовый уголь, модифицированный фуллеренами;
АУМ — активированный модифицированный уголь;
БАУ-А — уголь активный древесный дробленый для адсорбции загрязнений из водных сред;
КОЕ — количество колониеобразующих единиц.

Введение. Централизованная обработка воды на современных водопроводных очистных сооружениях позволяет обеспечить на выходе технологического цикла качество воды, соответствующее принятым санитарным нормам. Однако наличие в водопроводной воде соединений железа, железобактерий и других загрязнений, формирующихся вследствие транспортировки по трубам, находящимся в неудовлетворительном техническом состоянии, высокий остаточный уровень вредных веществ, а также опасность занесения в воду патогенной микрофлоры в некоторых случаях

являются причинами несоответствия качества водопроводной воды требованиям нормативных документов. Вследствие того, что конечный потребитель не всегда получает воду питьевого качества, целесообразна дообработка (доочистка) водопроводной воды. Как правило, функцию дообработки водопроводной воды выполняют фильтры с сорбционной загрузкой, при этом наиболее эффективными являются активированные угли.

Одно из направлений повышения сорбционной активности углеродных адсорбентов — введение в их состав модифицирующих добавок, характеризующихся специфическим электронным строением, что приводит к изменению электронного строения сорбентов и повышению их сорбционной активности. Известно, что введение фуллеренов в сорбенты приводит к значительному повышению их эффективности при поглощении растворенных в воде соединений. Помимо сорбционных свойств фуллерены обладают бактерицидными свойствами. Технология введения фуллеренов в активированные угли, разработанная в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (Техническом университете) (СПбГТИ(ТУ)), позволила получить новый сорбент — АУМ, обладающий повышенной сорбционной емкостью по органическим соединениям и катионам цветных металлов, растворенных в воде [1].

Известно, что наиболее эффективными для удаления из воды молекулярно-растворимых веществ являются адсорбционные методы [2, 3]. С момента открытия фуллеренов в конце XX в. в сорбционной технике созданы новые, фуллеренсодержащие материалы. Фуллерены — это молекулярные соединения, принадлежащие к классу аллотропных форм углерода. Они представляют собой замкнутые сферы (C_{60}) или сфероиды (C_{70} , C_{84}). В вершине каждого пяти- и шестигранника находятся атомы углерода. Из ряда фуллеренов наибольший интерес представляют молекулы C_{60} , имеющие наибольшую симметрию и потому наибольшую стабильность. Один из способов повышения сорбционной емкости материалов — введение в их состав фуллеренов.

В настоящей работе анализируются результаты исследований модифицированных фуллеренами активированных углей при очистке воды в режиме сорбция–регенерация [4–7].

Основная часть. При выборе активированного угля для проведения исследований учитывались требования, предъявляемые к углю, применяемым в очистке питьевой воды. В водоподготовке широко применяются березовый активированный дробленый уголь марки БАУ-А и кокосовый уголь.

Уголь марки БАУ-А и кокосовый уголь были выбраны для модификации фуллеренами и сравнительных исследований исходных и модифицированных углей одного типа и из одной партии. Уголь БАУ-А (поставщик ООО «Сорбент», г. Пермь) со следующими характеристиками: удельная поверхность $S_{уд} = 800 \text{ м}^2/\text{г}$, объем микропор $V_{ми} = 0,22 \text{ см}^3/\text{г}$, объем мезопор $V_{ме} = 0,14 \text{ см}^3/\text{г}$, предельный объем сорбционного пространства $W_s = 0,36 \text{ см}^3/\text{г}$.

Для модификации активированных углей был применен экстракт фуллеренов C_Σ , представляющий собой смесь фуллеренов C_{60} (89 % мас.), C_{70} (10 % мас.) и высших фуллеренов (1 % мас.), удельная поверхность которого составляет $3 \text{ м}^2/\text{г}$. В работе использовались фулле-

рены производства ОАО «ИЛИП» (г. Санкт-Петербург). Введение фуллеренов в состав исходных активированных углей проводили с использованием водного раствора фуллеренов заданной концентрации, стабилизированного краун-эфиrom. Количество вводимого краун-эфира составляло 2 г на 1 кг активированного угля. Удаление стабилизатора из исходного активированного угля осуществлялось в воздушной среде при температуре 170 °C (температура кипения краун-эфира 135 °C) в течение 1 ч [1, 6].

Исследования проводились на фильтрационной установке в лаборатории очистки воды кафедры водоснабжения Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ). Стандартные стеклянные фильтрационные колонки диаметром 43 мм и высотой 600 мм засыпались активированным углем на высоту слоя 320 мм.

В процессе фильтрования воды периодически производились одновременные отборы проб объемом 300 мл. В качестве контролируемых показателей исходной и очищенной воды были приняты наиболее характерные и оперативно определяемые показатели: pH, железо общее (Fe, мг/л), окисляемость перманганатная (Ок, мг/л) и цветность водопроводной воды (Ц, град.).

На стадии поисковых исследований для оперативного получения опытных данных эффективности применения АУМ^{бер} предусматривалось фильтрование на колонках со скоростью 2,5 и 1,5 м/ч. Было проведено три фильтроцикла, общая продолжительность каждого составляла 20–22 ч. Усредненные результаты проведенных фильтроциклов представлены в таблице.

Сводные показатели качества воды, обработанной кокосовым и березовым исходным и модифицированным активным углем

Проба воды	Усредненные показатели качества воды		
	железо общее, мг/л	окисляемость, мг/л	цветность, град.
Исходная водопроводная вода	0,23–0,65	3,2–4,6	10,0–29,3
Вода, обработанная АУ ^к	0,005	0,74	7,80
Вода, обработанная АУМ ^к	0,10	0,91	7,00
Вода, обработанная АУ ^{бер}	0,04	3,70	11,20
Вода, обработанная АУМ ^{бер}	0,005	2,50	7,40

Результаты исследования доочистки водопроводной воды показали, что, как правило, качество исходной водопроводной воды не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01 [8].

Было установлено, что фильтрация исходной воды на активированных кокосовых и березовых углях, в том числе модифицированных фуллеренами, позволяет получать воду питьевого качества. При этом результаты исследования доочистки водопроводной воды на АУМ^к и АУ^к показали недостаточную по сравнению с березовыми углами эффективность модификации кокосовых углей фуллеренами. Причина этого заключается в наличии в структуре кокосовых углей большого количества микропор, забиваемых при модификации молекулами фулле-

ренов. В целом при проведении коротких фильтроциклов по доочистке водопроводной воды на АУМ^{бер} и АУ^{бер} АУМ^{бер} эффективнее в доочистке в среднем на 12–15 %. Исследования доочистки на исходных и модифицированных кокосовых и березовых активированных углях показали также неэффективность обычной обратной промывки активированных углей.

Для определения эффективности работы березового модифицированного активированного угля в режиме реального водопотребления был проведен продолжительный фильтроцикл по обработке воды АУМ^{бер} и АУ^{бер}. Фильтрование производилось со скоростью 2,5 м/ч. Общий объем воды, обработанной на колонках с АУМ^{бер} и АУ^{бер} без замены сорбента, составил 4265 л, при этом общая продолжительность фильтроцикла была 1175 ч. Получены результаты содержания железа, цветности и окисляемости исходной воды и воды, обработанной АУМ^{бер} и АУ^{бер}. Представлены данные, а также зависимости эффективности очистки по содержанию железа, цветности и окисляемости исходной воды и воды, обработанной АУМ^{бер} и АУ^{бер}. Так, на рис. 1 показана зависимость эффективности очистки воды по цветности на АУМ^{бер} и АУ^{бер}.

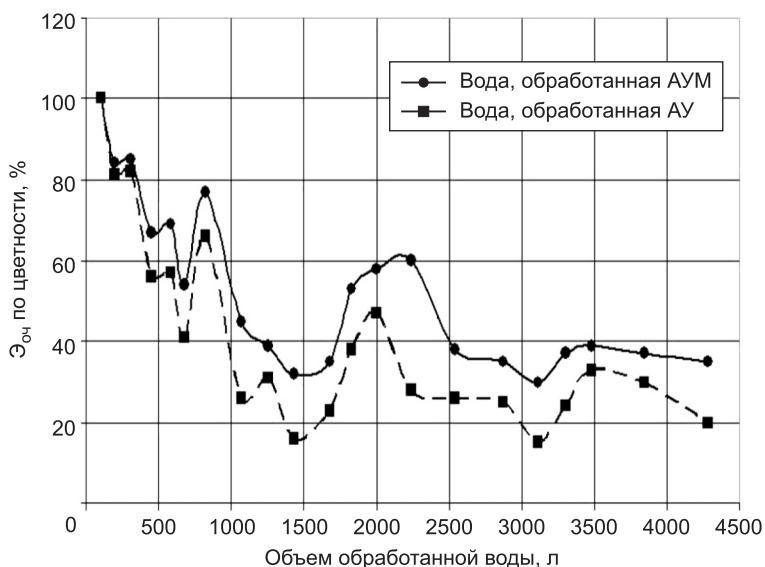


Рис. 1. График зависимости эффективности очистки воды по цветности АУМ^{бер} и АУ^{исх}

Результаты, полученные при проведении фильтроциклов по обработке исходной водопроводной воды АУМ^{бер}, позволили определить средненние показатели эффекта очистки воды по окисляемости при высоте фильтрующего слоя 320 мм и скорости фильтрования 2,5 м/ч.

На основании полученных данных определен также эффект очистки исходной воды по окисляемости при различной высоте фильтрующего слоя и различных скоростях фильтрования. На рис. 2 представлена зависимость эффективности очистки на АУМ^{бер} от скорости фильтрования при различной высоте фильтрующей загрузки.

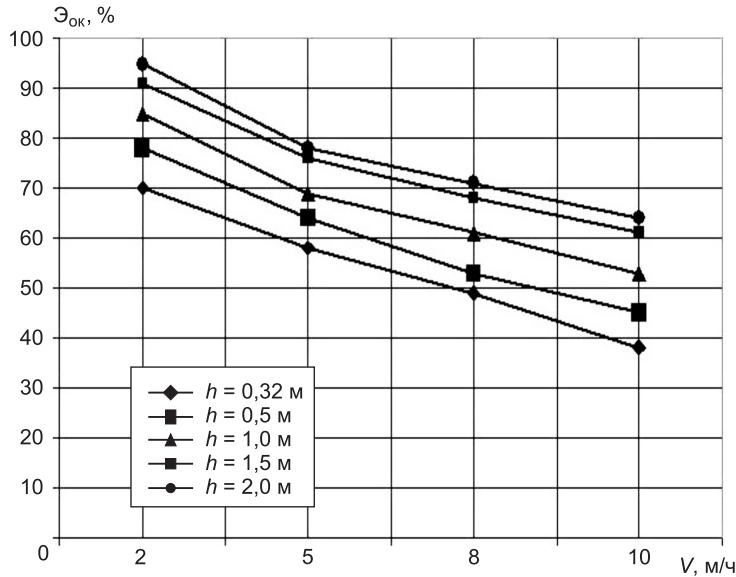


Рис. 2. Эффективность очистки исходной воды по окисляемости на АУМ^{бер} при различной высоте фильтрующей загрузки и скорости фильтрования

Эффективная продолжительность работы модифицированного фуллеренами активированного угля определялась предъявляемыми требованиями к качеству очищенной воды.

На рис. 3 представлены зависимости продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрования и времени контакта обрабатываемой воды с модифицированным фуллеренами активированным углем.

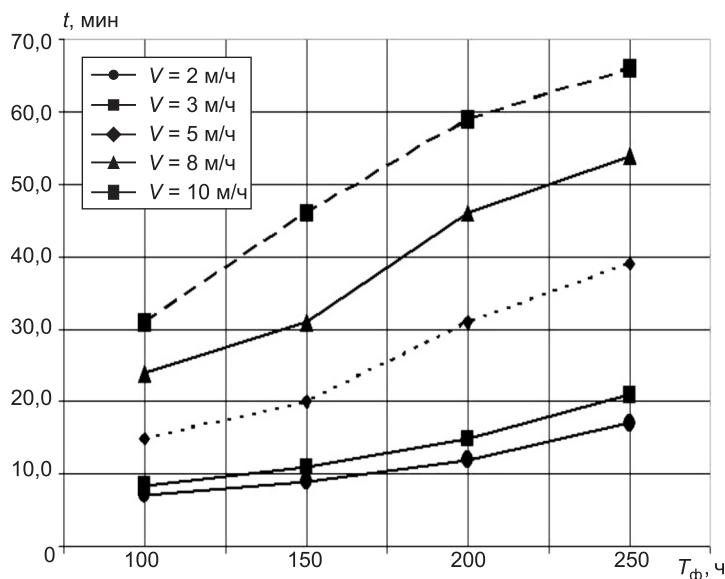


Рис. 3. Продолжительность фильтроцикла при обработке исходной воды АУМ^{бер} при различной скорости фильтрования и времени контакта воды с сорбционной загрузкой

Аппроксимация зависимостей технологических параметров доочистки водопроводной воды на фильтрах с активированным углем, модифицированным фуллеренами, произошла в стандартном пакете Excel-2010. Построение линий тренда и выбор вида функций проводились с учетом коэффициента детерминации.

Расчеты показали, что для полиномиальной функции 3-й степени коэффициент детерминации $R^2 = 1$. Зависимость эффекта очистки исходной воды по окисляемости на АУМ^{беп} при различной высоте фильтрующей загрузки и скорости фильтрования имеет вид:

$$\left. \begin{array}{l} y = -0,083x^3 + 1,417x^2 - 10,667x + 86,333 \quad (\text{для } h = 0,32 \text{ м}) \\ y = -0,029x^3 + 0,604x^2 - 7,758x + 91,333 \quad (\text{для } h = 0,50 \text{ м}) \\ y = -0,089x^3 + 1,778x^2 - 14,311x + 107,220 \quad (\text{для } h = 1,00 \text{ м}) \\ y = -0,069x^3 + 1,431x^2 - 12,306x + 110,440 \quad (\text{для } h = 1,50 \text{ м}) \\ y = -0,099x^3 + 2,035x^2 - 16,064x + 119,780 \quad (\text{для } h = 2,0 \text{ м}) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где y — эффект очистки по окисляемости на АУМ^{беп}, %;
 x — скорость фильтрования в диапазоне 2–10 м/ч.

Зависимость продолжительности фильтроцикла от скорости фильтрования и времени контакта обрабатываемой воды с АУМ^{беп} выражается по формулам:

$$\left. \begin{array}{l} y = 0,083x^3 - 4,0x^2 + 72,917x - 243,0 \quad (\text{для } V = 2 \text{ м/ч}) \\ y = 0,059x^3 - 3,189x^2 + 65,264x - 260,60 \quad (\text{для } V = 3 \text{ м/ч}) \\ y = 0,018x^3 - 1,525x^2 + 46,782x - 319,14 \quad (\text{для } V = 5 \text{ м/ч}) \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где y — продолжительность фильтроцикла на АУМ^{беп}, ч;
 x — продолжительность контакта обрабатываемой воды с АУМ^{беп} в диапазоне 10–20 мин.

Для регенерации активных березовых углей с целью восстановления их сорбционной емкости в качестве окислителя был применен гипохлорит натрия, вводимый в воду перед его подачей на колонки с адсорбентами [9]. Доза активного хлора в воде с гипохлоритом натрия для регенерации определялась экспериментально. Для этого через колонки с АУМ^{беп} и АУ^{беп} было пропущено 160 л исходной водопроводной воды со скоростью 2,5 м/ч для снижения сорбционной емкости углей.

Снижение эффекта очистки по окисляемости до 30 % свидетельствовало о необходимости проведения регенерации; затем адсорбенты обрабатывались гипохлоритом натрия с заданной дозой активного хлора; после чего производилась обратная промывка загрузки колонок. Доза активного хлора варьировалась от 1 до 70 мг/л. Применение окислителя с малыми дозами активного хлора не оказалось влияния на сорбционную емкость загрузки. Показатели качества обрабатываемой воды после регенерации АУМ^{беп} и АУ^{беп} позволили установить, что только после обработки загрузки водным раствором гипохлорита натрия с дозой активного хлора 70 мг/л удалось добиться снижения цветности в водопроводной воде в

режиме сорбции по сравнению с результатами ранее проведенных исследований.

Снижение эффективности очистки, получаемое при пропускании воды с гипохлоритом натрия через фильтрующие колонки, обусловлено окислением гуматов и других органических соединений, задержанных в порах углей на стадии сорбции, и их выбросом в фильтрат, что, по сути, является регенерацией отработанных на стадии сорбции углей. Показано, что применение гипохлорита натрия в «классической» окислительно-сорбционной схеме обработки воды является менее эффективным, чем применение этого же реагента для регенерации углей периодически в больших дозах и кратковременно.

Известно, что активированные угли представляют собой богатую питательную среду для микроорганизмов, что является причиной невозможности длительного использования углей для доочистки питьевой воды. Вместе с тем есть данные о наличии бактерицидных свойств фуллеренов [2]. Для определения эффекта очистки воды АУ^{бер} и АУМ^{бер} от возможных бактериальных загрязнений проводилось исследование по следующей методике: в исходную водопроводную воду вводился заранее приготовленный раствор, содержащий кишечную палочку; после перемешивания вода подавалась на фильтровальные колонки. Через каждую колонку пропускалось по 5 л воды, содержащей кишечную палочку, затем отбирались пробы, исследуемые кафедрой сорбентов СПбГТУ. Результаты бактериологического анализа (КОЕ): исходная вода — 100 шт./л; вода после АУ^{бер}_{исх} — 460 шт./л; вода после АУМ^{бер} — 5 шт./л.

Выводы. Результаты исследований показали, что для доочистки воды модификация фуллеренами наиболее целесообразно для березовых активированных углей, имеющих крупнопористую структуру.

Установлено, что применение модифицированного фуллеренами активированного березового угля для доочистки водопроводной воды позволяет увеличить до 30 % эффективность очистки по цветности, содержанию железа и окисляемости по сравнению с исходным углем.

Разработана оригинальная методика периодической регенерации активированного угля, модифицированного фуллеренами, заключающаяся в применении водных растворов гипохлорита натрия с дозой активного хлора 70 мг/л при снижении эффекта очистки исходной воды по окисляемости до 30 %. При этом исследования показали, что регенерация гипохлоритом натрия для модифицированных фуллеренами углеродных адсорбентов на 15–20 % выше, чем для исходных углей.

Изучены бактерицидные свойства активированного угля, модифицированного фуллеренами, при доочистке водопроводной воды, подтверждено наличие бактерицидных свойств у АУМ по сравнению с АУ_{исх}.

Получены аналитические зависимости технологических параметров доочистки водопроводной воды на фильтрах с активированным углем, модифицированным фуллеренами.

На способ дообработки питьевой воды получено решение Роспатента о выдаче патента на изобретение по заявке № 2012113161/05 от 05.04.2012 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самонин, В.В. Сорбирующие материалы, изделия, устройства и процессы управляемой адсорбции [Текст] / В.В. Самонин, М.Л. Подвязников, В.Ю. Никонова, Е.А. Спиридовна, А.Ю. Шевкина. — СПб. : Наука, 2009. — 271 с.
2. Самонин, В.В. Влияние модифицирующих фуллереновых добавок на бактерицидные свойства активированных углей [Текст] / В.В. Самонин, В.Ю. Никонова, Е.А. Спиридовна // Химическая промышленность. — 2006. — Т. 83, № 6. — С. 227–284.
3. Водоснабжение Санкт-Петербурга (колл. авт.; под общ. ред. Ф.В. Кармазинова) [Текст]. — СПб. : Новый журнал, 2003. — 688 с.
4. Грун, Н.А. Исследование активированного угля, модифицированного фуллеренами, применяемого для кондиционирования водопроводной воды [Текст] / Н.А. Грун, А.Н. Ким // Вестн. гражданских инженеров. — СПбГАСУ, 2010. — № 2 (23). — С. 146–150.
5. Ким, А.Н. Проблемы кондиционирования водопроводной воды, пути их решения [Текст] / А.Н. Ким, Н.А. Грун // Сб. материалов IV междунар. семинара «Методы повышения ресурса городских инженерных инфраструктур» Харьк. гос. техн. ун-та стр-ва и архит. (ХГТУСА). — Харьков, 2010. — С. 264–270.
6. Самонин, В.В. Модифицирование активных углей фуллеренами и их исследование в процессах кондиционирования водопроводной воды в режиме сорбция-регенерация [Текст] / В.В. Самонин, В.Ю. Никонова, А.Н. Ким, Н.А. Грун. — Изв. СПбГТУ. — 2010. — № 8 (34). — С. 77–80.
7. Грун, Н.А. Вопросы питьевого водоснабжения и пути их решения методом доочистки водопроводной воды на фильтрах с березовым активированным углем, модифицированным фуллеренами [Текст] / Н.А. Грун, А.Н. Ким // Вестн. Самар. гос. архит.-строит. ун-та (СГАСУ). — Самара, 2013. — Вып. № 4 (12). — С. 28–32.
8. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем водоснабжения [Текст]. — М., 2002. — 76 с.
9. ГОСТ 11086–76. Гипохлорит натрия. Технические условия [Текст]. — М. : Стандартинформ, 2006. — 6 с.

*КИМ Аркадий Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: vodokafedra@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 02.04.14

Kim Arkadiy Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: vodokafedra@mail.ru, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**PROBLEMS OF DRINKING WATER SUPPLY AND WAY
OF THEIR DECISION BY PROCESSING OF TAP WATER
AT THE CONSUMER**

The actual problem of need of additional cleaning (additional processing) tap water for the drinking purposes at the consumer is considered. It is connected with that tap water, passing on the city pipes which are in an unsatisfactory state, repeatedly becomes soiled physical and chemical and bacteriological ingredients; it is promoted also by the big duration of stay of water in water supply system because of sharp reduction of specific water consumption. The technique of modifying of absorbent carbon fullerens is presented. The technique of research of the initial and modified birch and coconut absorbent carbon is developed by filtering. As controlled indicators oxidability, chromaticity, the content of iron in the initial and conditioned water are chosen. Results of comparative laboratory researches of the modified and initial

absorbent carbon are given at additional processing of tap water. The original technique of regeneration of the fulfilled absorbent carbon with use of hypochlorite of sodium is developed. Bactericidal properties of the absorbent carbon modified fullerenes are confirmed. Dependences of duration of a filter run and efficiency of additional processing of tap water on filters with the birch absorbent carbon modified fullerenes are received.

Key words: the absorbent carbon, the coal modified by fullerenes, filtering installation, oxidability, concentration of iron, chromaticity, coal regeneration, sodium hypochlorite.

REFERENCES

1. Samonin, V.V. Occluding materials, products, devices and processes of operated adsorption [Text] / V.V. Samonin, M.L. Podvyaznikov, V.Yu. Nikonova, E.A. Spiridonova, A.Yu. Shevkina. — St. Petersburg : Nauka, 2009. — 271 p.
 2. Samonin, V.V. Influence of modifying fullerenes additives on bactericidal properties of absorbent carbon [Text] / V.V. Samonin, V.Yu. Nikonova, E.A. Spiridonova // Chemical industry. — 2006 . — Vol. 83, N 6. — P. 227–284.
 3. Water supply of St. Petersburg (group of authors; under F.V. Karmazinov's general edition) [Text]. — St. Petersburg : New magazine, 2003. — 688 p.
 4. Grun, N.A. Research of the absorbent carbon modified fullerenes, applied to conditioning of tap water [Text] / N.A. Grun, A.N. Kim // The Messenger of civil engineers. — SPbSUACE, 2010. — N 2 (23). — P. 146–150.
 5. Kim, A.N. Problems of conditioning of tap water, way of their decision [Text] / A.N. Kim, N.A. Grun // Collection of materials IV of the international seminar «Methods of increase of a resource of city engineering infrastructures» of HGTUSA. — Kharkov, 2010. — P. 264–270.
 6. Samonin, V.V. Modifying of active coals fullerenes and their research in processes of conditioning of tap water in a mode sorption regeneration [Text] / V.V. Samonin, V.Yu. Nikonova, A.N. Kim, N.A. Grun // News SPbSTU. — 2010. — N 8 (34). — P. 77–80.
 7. Grun, N.A. Questions of drinking water supply and way of their decision a method of additional cleaning of tap water on filters with the birch absorbent carbon modified fullerenes [Text] / N.A. Grun, A.N. Kim // Bulletin SSCEU. — Samara, 2013. — Vol. N 4 (12). — P. 28–32.
 8. SanPiN 2.1.4.1074–01. Drinking water. Hygienic requirements to quality of water of the centralized systems of drinking water supply. Quality control. Hygienic requirements to safety of systems of water supply [Text]. — M., 2002. — 76 p.
 9. State Standart 11086–76. Sodium hypochlorite. Specifications [Text]. — M. : Standartinform, 2006. — 6 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, В.А. ГВОЗДЕВ,
В.А. КАНИВЕЦ

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА ДРОССЕЛЬНО-БЕСКЛАПАННОГО ТИПА И ЕГО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Рассматривается устройство и принцип работы синтезированного пневмоударного механизма на базе дроссельного воздухораспределения и приводятся физико-математические основы его описания.

Ключевые слова: пневмоударный механизм, бародинамика, давление воздуха, расход воздуха, выпускной дроссель.

Введение. Синтез пневмоударного механизма, рассматриваемый в данной работе, выполнен на базе классификации признаков, характерных для всех известных до настоящего времени пневмоударных механизмов [1].

Аналоги, устройство и их основные признаки. Известные аналоги и их признаки являются простыми в конструктивном и технологическом исполнении, но базовый признак пневмоударного механизма — дроссельное воздухораспределение — предопределяет наличие непроизводительной части расхода воздуха.

Так, пневмоударный механизм [2] (рис. 1) устроен и работает следующим образом.

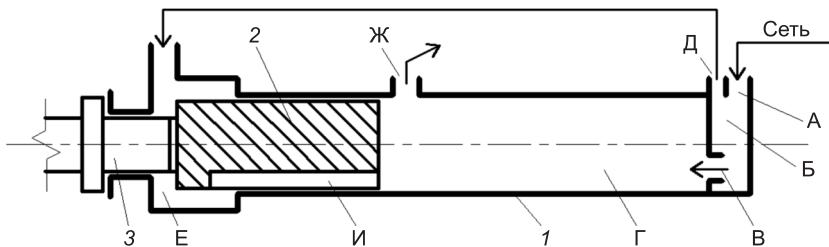


Рис. 1. Принципиальная схема дроссельного пневматического ударного механизма [1, 2]

Сжатый воздух из сети по каналу А с проходным сечением ω_c поступает в камеру Б с объемом V_c , откуда по дроссельному каналу В с проходным сечением ω_p — в камеру рабочего хода Г с объемом V_p и по дроссель-

ному каналу Δ с проходным сечением ω_x — в камеру холостого хода Е с объемом V_x в цилиндре 1 с выточкой и массой m_k .

Опорожнение камер Г и Е осуществляется попеременно, в зависимости от положения ударника 2 массой m_y через канал Ж с проходным сечением ω_d : $\omega_d = \omega_{ap} = \omega_{ax}$.

Под действием разницы силовых импульсов со стороны камер Г и Е ударник совершаает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 3. На ударнике 2 выполнен паз И с проходным сечением ω_b : $\omega_b < \omega_{ap} = \omega_{ax}$, имеющий выход на его боковую поверхность и на торец со стороны камеры Г и предназначенный для вытеснения части воздуха из камеры Е. Канал И может быть выполнен в виде паза или лыски на боковой поверхности ударника либо в виде канала в теле ударника или в стенке цилиндра [2].

Еще один пневмоударный механизм [3] (рис. 2) устроен и работает следующим образом.

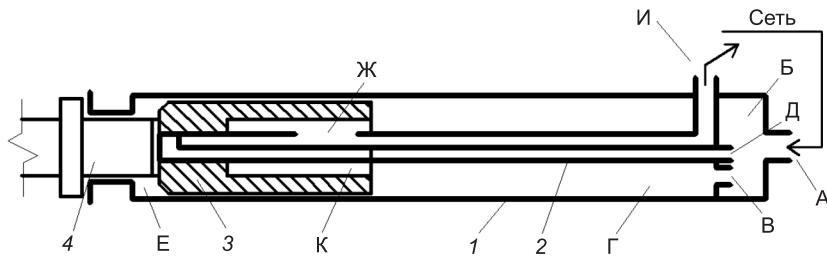


Рис. 2. Принципиальная схема дроссельного пневматического ударного механизма [1, 3]

Сжатый воздух из сети по каналу А с проходным сечением ω_c поступает в предкамеру Б с объемом V_c , откуда по дроссельному каналу В с проходным сечением ω_p — в камеру рабочего хода Г с объемом V_p в цилиндре 1 массой m_k и по дроссельному каналу Д с проходным сечением ω_x в трубке 2 — в камеру холостого хода Е с объемом V_x .

Опорожнение камер Г и Е осуществляется попеременно, в зависимости от положения ударника 3 массой m_y , через щелевой дроссель Ж с проходным сечением $\omega_{ж}$: $\omega_{ж} = \omega_{ap} = \omega_{ax}$ и имеющийся в трубке выпускной канал И с проходным сечением ω_i : $\omega_i > \omega_{ap} = \omega_{ax}$.

Под действием разницы силовых импульсов со стороны камер Г и Е ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 4.

Выпускаемый из камеры Г отработавший воздух в дроссель Ж попадает через кольцевой канал К в ударнике.

В пневмоударном механизме [2] через канал вытеснения на поверхности цилиндра или ударника в положении контакта ударника и хвостовика рабочего инструмента камера холостого хода сообщается с камерой рабочего хода, из которой осуществляется выпуск отработавшего воздуха, что предопределяет снижение импульса давления воздуха со стороны камеры и как следствие снижение частоты ударов; при постоянно открытых выпускных дросселях камер рабочего и холостого ходов и сообщении их с атмосферой имеет место непроизводительный расход воздуха из сети.

В пневмоударном механизме [3], как и в механизме [2], в рабочем цикле камер рабочего и холостого ходов осуществляется впуск воздуха в каждую из камер, и выпуск отработавшего воздуха осуществляется также из каждой камеры при одновременном впуске воздуха из сети посредством постоянно открытых дросселей, что обуславливает непропорциональный расход воздуха из сети при сообщении камер с атмосферой.

Отмеченные недостатки механизмов [2, 3] обусловливают снижение экономичности пневматических машин ударного действия на их основе.

Отметим также, что механизм имеет конструктивный недостаток: применение многоканальной трубы — воздухоподвода и воздухоотвода.

Так, канал впуска в камеру холостого хода и канал выпуска из камер рабочего и холостого ходов выполнены в одной трубке, что приводит к увеличению ее поперечных размеров, а следовательно, поперечных размеров и массы пневматической машины ударного действия.

Идея синтеза пневмоударного механизма заключается в применении положительных свойств дроссельного воздухораспределения с исключением отмеченных недостатков полностью или частично путем реализации процесса впуска воздуха в камеру холостого хода посредством его перепуска из камеры рабочего хода и осуществления выпуска отработавшего воздуха только из камеры холостого хода.

Синтез пневмоударного механизма навесного молотка. Задача синтеза решается, например, следующими конструктивными приемами: канал выпуска отработавшего воздуха из камер осуществить посредством трубы, а перепуск — посредством канала с отсекающей кромкой на боковой поверхности ударника.

Исполнение принципиальной схемы синтезированного пневмоударного механизма поясняется продольным разрезом (рис. 3).

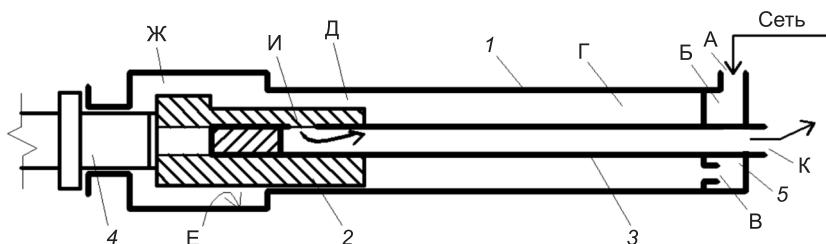


Рис. 3. Принципиальная схема дроссельного пневматического ударного механизма [1–3]

Устройство и рабочий процесс синтезированного механизма. Согласно представленного рис. 3, механизм [1–3] устроен и работает следующим образом.

Сжатый воздух из сети по каналу А с проходным сечением ω_c поступает в предкамеру Б с объемом V_c в корпусе 1 массой m_k и непрерывно по дроссельному каналу В с проходным сечением ω_p — в камеру рабочего хода Г с объемом V_p , откуда периодически, в зависимости от положения ударника 2 массой m_y , по перепускному каналу Д в виде лыски с проходным сечением ω_x — в выточку корпуса Е с образованием в ней камеры Ж холостого хода с объемом V_x .

Опорожнение камеры Ж осуществляется периодически посредством выпускного канала И с проходным сечением ω_{ax} в трубке З с продольным выпускным каналом К с проходным сечением ω_k : $\omega_k > \omega_{ax}$. Выпуск отработавшей части воздуха из камеры Г в атмосферу не осуществляется.

Под действием разницы силовых импульсов со стороны камер Г и Ж ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 4.

Для предварительного сравнения принципиальных схем механизмов [2, 3] и синтезированного механизма целесообразно привести их к одинаковым приемным устройствам сжатого воздуха из сети. Этим устройством для каждого рассматриваемого механизма является камера сетевого воздуха с объемом V_c и проходным сечением ω_c воздухоподводящего канала к сетевой камере. При этом устройство включения и выключения впуска воздуха в сетевую камеру, обеспечивающее в объеме V_c давление воздуха, близкое к сетевому, может быть любого конструктивного исполнения.

Следует принять условие для всех механизмов одинаковое — выпуск воздуха в окружающую среду (атмосферу) с давлением P_a . Устройство средств шумозащиты и виброзащиты и их конструктивное исполнение соответствует значениям силы отдачи, амплитуде, перемещению, ускорению ударника и корпуса машины с конкретным пневматическим ударным механизмом.

Введем дополнительные обозначения и ограничения для бародинамических, баромеханических параметров рабочего процесса механизма.

P_c , P_p , P_x — давление воздуха в сетевой камере, камерах рабочего и холостого ходов с соответствующими объемами: V_c , V_p , V_x ;

Ψ_{ky} , Ψ_{yt} , Ψ_{kb} — площади проходных сечений кольцевых зазоров в парах «корпус — ударник», «ударник — трубка» и «корпус — хвостовик инструмента» или «букса — хвостовик инструмента»;

Φ_c , Φ_p , Φ_x , Ψ_{ky} , Ψ_{yt} , Ψ_{kb} — бародинамический коэффициент для каналов с проходными сечениями ω_c , ω_p , ω_x , Ψ_{ky} , Ψ_{yt} , Ψ_{kb} ;

W — термодинамический коэффициент: $W = [2 \cdot k \cdot R / (k - 1)]^{1/2}$, где k — коэффициент процесса и R — газовая постоянная;

F_{ky} , F_{yt} , F_{kb} — силы трения в контактных парах с сечениями зазоров Ψ_{ky} , Ψ_{yt} , Ψ_{kb} ;

F_h — усилие нажатия на корпус;

$(d^2 x_y / dt^2), (d^2 x_k / dt^2)$ — ускорения движения ударника и корпуса;

$(dx_y / dt)_y, (dx_k / dt)_o$ — скорости отскока для ударника и корпуса до и после отскока;

k_y , k_k — коэффициенты отскока ударника от хвостовика инструмента и корпуса от буртика инструмента;

t — текущее время.

Физико-математическое описание. Набор известных признаков-элементов [1] для принципиальных схем [2, 3] и синтезированной схемы пневмоударного механизма представлен их физико-математическим описанием бародинамических и баромеханических процессов.

Так, для механизма [2] указанные составляющие рабочего процесса представлены следующим описанием.

Бародинамическая составляющая —

$$\begin{cases} dP_c / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_c \cdot \varphi_c - \omega_p \cdot \varphi_p - \omega_x \cdot \varphi_x)] / V_c, \\ dP_p / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_p \cdot \varphi_p - \omega_{ap}(x_y) \cdot \varphi_{ap} \pm \psi_{ky} \cdot \varphi_{ky}) + \\ + P_p \cdot (dx_y / dt) \cdot S_p] / (V_p - x_y \cdot S_p), \\ dP_x / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_x \cdot \varphi_x - \omega_{bx}(x_y) \cdot \varphi_{bx} - \omega_{ax}(x_y) \cdot \varphi_{ax} - \psi_{kb} \cdot \varphi_{kb} \pm \psi_{ky} \cdot \varphi_{ky}) - \\ - P_x \cdot (dx_y / dt) \cdot S_x] / (V_x + x_y \cdot S_x). \end{cases} \quad (1)$$

Для механизма [3] бародинамическая составляющая имеет вид —

$$\begin{cases} dP_c / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_c \cdot \varphi_c - \omega_p \cdot \varphi_p - \omega_x \cdot \varphi_x)] / V_c, \\ dP_p / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_p \cdot \varphi_p - \omega_{ap}(x_y) \cdot \varphi_{ap} \pm \psi_{ky} \cdot \varphi_{ky}) + \\ + P_p \cdot (dx_y / dt) \cdot S_p] / (V_p - x_y \cdot S_p), \\ dP_x / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_x \cdot \varphi_x - \omega_{bx}(x_y) \cdot \varphi_{bx} - \omega_{ax}(x_y) \cdot \varphi_{ax} - \psi_{kb} \cdot \varphi_{kb} \pm \\ \pm \psi_{yt} \cdot \varphi_{yt} \pm \psi_{ky} \cdot \varphi_{ky}) - P_x \cdot (dx_y / dt) \cdot S_x] / (V_x + x_y \cdot S_x). \end{cases} \quad (2)$$

Для синтезированного механизма бародинамическая составляющая имеет вид —

$$\begin{cases} dP_c / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_c \cdot \varphi_c - \omega_p \cdot \varphi_p)] / V_c, \\ dP_p / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_p \cdot \varphi_p - \omega_x(x_y) \cdot \varphi_x - \omega_{ax}(x_y) \cdot \varphi_{ax} \pm \psi_{ky} \cdot \varphi_{ky}) - \\ - P_p \cdot (dx_y / dt) \cdot S_p] / (V_p - x_y \cdot S_p), \\ dP_x / dt = k \cdot [W \cdot (\omega_x(x_y) \cdot \varphi_x - \omega_{ax}(x_y) \cdot \varphi_{ax} - \psi_{kb} \cdot \varphi_{kb} \pm \\ \pm \psi_{yt} \cdot \varphi_{yt} \pm \psi_{ky} \cdot \varphi_{ky}) - P_x \cdot (dx_y / dt) \cdot S_x] / (V_x + x_y \cdot S_x). \end{cases} \quad (3)$$

При сравнении систем уравнений бародинамической составляющей для механизмов [2, 3] очевидной является адекватность их рабочих процессов.

Физико-математическое описание (3) синтезированного пневмоударного механизма существенно отличается от описаний процесса [2, 3] в уравнениях:

- для dP_c / dt отсутствует комбинация $(\omega_x \cdot \varphi_x)$;
- для dP_p / dt вводится комбинация $(-\omega_x(x_y) \cdot \varphi_x)$, отсутствует комбинация $(\omega_{ap}(x_y) \varphi_{ap})$;
- для dP_x / dt вводится комбинация $(+\omega_x(x_y) \cdot \varphi_x)$ и отсутствует комбинация $(-\omega_{bx}(x_y) \cdot \varphi_{bx})$.

Баромеханические составляющие имеют одинаковые физико-математические описания при добавлении для (2) и (3) параметра $(-F_{yt})$:

$$\begin{cases} d^2 x_y / dt^2 = P_x \cdot S_x - P_p \cdot S_p - F_{ky} / m_y & \text{при } x_y > 0, \\ (dx_y / dt)_o = -k_y \cdot (dx_y / dt)_y & \text{при } x_y \leq 0, \\ d^2 x_k / dt^2 = P_x \cdot S_x - P_p \cdot S_p - F_{ky} - F_h / m_y & \text{при } x_k > 0, \\ (dx_k / dt)_o = -k_k \cdot (dx_k / dt)_y & \text{при } x_k \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Естественно, система уравнений (4) при одинаковом формальном описании процесса даст различные количественные значения выходных энергетических параметров по расходу воздуха, энергии и частоте ударов.

Система уравнений (3), описывающая бародинамический процесс, указывает на различные качественные значения рабочего процесса, происходящего в рабочих камерах синтезированного механизма, в сравнении с механизмами [2, 3]. Для синтезированного пневмоударного механизма уравнения системы (3) дадут различные количественные значения в сравнении с механизмами [2, 3] по dP_c / dt , dP_p / dt и dP_x / dt при изменении давления воздуха во время рабочего цикла.

Для синтезированного механизма в сравнении с механизмами [2, 3] существенное значение будет иметь влияние на рабочий процесс комбинации ($-\omega_{\text{ок}} \cdot \varphi_{\text{ок}}$), поскольку утечки воздуха из камеры холостого хода через зазор «хвостовик рабочего инструмента — букса» будут влиять более существенно на изменение (dP_x / dt) в (3) и ($P_x \cdot S_x$) в (4).

Ограничения для $\omega_p(x_y)$ и $\omega_x(x_y)$ здесь опускаются по причине их различий в конкретных конструктивных схемах механизмов. Однако начало отсчетов для x_y предпочтительно принимать при положении контакта ударника с хвостовиком рабочего инструмента.

Выводы. Синтезированный вариант пневматического ударного механизма, несмотря на применение известных признаков — элементов классификации [1], позволяет изменить качественно и количественно рабочий процесс механизма. При этом предполагается увеличение энергии и частоты ударов, а также ресурса механизма.

Рассмотренный вариант принципиальной схемы синтезированного механизма может быть применен в пневматических машинах ударного действия с различными сочетаниями энергии и частоты ударов с зависимыми от них массой и габаритными размерами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные: справ. пособие [Текст] / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. — Новосибирск : Изд-во НГУ, 1993. — 430 с.
2. А. с. 1158341 СССР. Пневматический молоток [Текст] / Э.А. Абраменков, А.Г. Богаченков, В.В. Пичужков. — Опубл. 1985; Бюл. № 30.
3. А. с. № 1172692 СССР. Пневматический молоток [Текст] / Э.А. Абраменков, А.Г. Богаченков, В.П. Брызгалов. — Опубл. 1985; Бюл. № 30.

АБРАМЕНКОВ Дмитрий Эдуардович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
АБРАМЕНКОВ Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ГВОЗДЕВ Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vizo@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КАНИВЕЦ Владислав Анатольевич, студ.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 04.04.14

Abramenkov Dmitriy Eduardovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Abramenkov Eduard Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Gvozdev Vladimir Alexeevich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: vizo@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Kanivets Vladislav Anatolievich, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

SCHEMATIC DIAGRAM OF PNEUMOSHOCK MECHANISM THROTTLE-VALVELESS TYPE AND PHYSICAL MATHEMATICAL DESCRIPTION

Discusses the structure and principle of work synthesized air-percussion mechanism, based on the throttle distribution and provides physical-mathematical foundations of its description.

Key words: pneumoshock mechanism, barodynamics, air pressure, air flow, an inlet throttle.

REFERENCES

1. A b r a m e n k o v, E.A. Pneumatic mechanisms of machines of shock action: throttle, jet, unspool, valveless: reference manual [Text] / E.A. Abramenkov, D.E. Abramenkov. — Novosibirsk : Publishing house NSU, 1993. — 430 p.
2. A.s. 1158341 USSR. A pneumatic hammer [Text] / E.A. Abramenkov, A.G. Bogachenkov, V.V. Pichuzhkov. — Publ. 1985; Bull. N 30.
3. A.s. 1172692 USSR. A pneumatic hammer [Text] / E.A. Abramenkov, A.G. Bogachenkov, V.P. Bryzgalov. — Publ. 1985; Bull. N 30.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 504.062

И.М. ЕВГРАФОВА, А.А. ЛАВРУСЕВИЧ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Рассмотрены вопросы, посвященные геоэкологическому обоснованию использования мобильных энергетических установок для покрытия пиковых нагрузок. Определены воздействия на окружающую среду и разработан перечень мероприятий по ее защите, позволяющий оперативно решать вопросы энергетической и экологической безопасности. Полученный опыт использования мобильных энергетических установок в г. Сочи позволит их успешно применять на практике на других территориях.

Ключевые слова: геоэкология, энергетические установки, экологическая оценка, воздействие на окружающую среду, экологическая безопасность, рациональное природопользование, охрана окружающей среды, атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, отходы, шум.

На территориях, испытывающих острую нехватку энергоресурсов, в связи с резким увеличением нагрузки, аварией, политической ситуацией или с природными катализмами, весьма важной задачей является покрытие дефицита в кратчайшие сроки с минимальным ущербом для окружающей среды [1]. Определяющие факторы при этом:

- требуемая мощность;
- вид энергоресурса, его доступность и гарантированный запас;
- время развертывания энергосистемы и возможность ее безотказной работы.

При проведении спортивных мероприятий международного уровня в г. Сочи накоплен успешный опыт применения мобильных электростанций для резервного обеспечения электроэнергией, который может быть перенесен на Крымский полуостров и другие территории.

Основная цель работы — определение воздействия на окружающую среду от мобильных газотурбинных электростанций в процессе строительства, эксплуатации и демонтажа объекта (на примере подстанции «Псоу» в Адлерском районе г. Сочи). Все оборудование станции, как правило, устанавливается на передвижные автомобильные платформы, а платформы — на специальные бетонные площадки с готовой инфраструктурой. После полной установки электростанция запускается всего за 7 мин. Такая конструкция позволяет перемещать МГТЭС из одного ре-

гиона в другой, оперативно реагируя на возникающий дефицит электроэнергии. Из-за неравномерности нагрузки на окружающую среду изучались вопросы экологической безопасности на различных стадиях функционирования объекта: строительства, эксплуатации и демонтажа.

Мобильная установка является полностью автономной автоматической газотурбинной электростанцией, оборудованной всем необходимым для производства электроэнергии [2]. Каждая установка состоит из двух основных блоков — силового модуля газотурбинных установок и блока средств автоматики и управления. В качестве основного вида топлива для газовых турбин используется авиационный керосин марки ТС-1. МГТЭС, состоящая из четырех модулей с передвижными подстанциями, установлена на территории существующей подстанции «Псоу» в Адлерском районе г. Сочи. С западной и восточной сторон на расстоянии порядка 50–60 м площадка граничит с малоэтажной жилой застройкой. Фонового загрязнения компонентов окружающей среды не отмечено.

На стадии строительства воздействие на атмосферный воздух ограничено во времени, предусматривалось использование дорожно-транспортной техники для доставки строительных материалов, для проведения выемки грунта и обратной засыпки. Для монтажа основного оборудования, трубопроводов использовалась сварка. Расчеты выбросов от автотранспорта, задействованного в период строительства, и от сварочных работ проведены по методикам, утвержденным и рекомендованным к применению НИИ «Атмосфера». Суммарные выбросы на период строительства представлены в табл. 1.

Таблица 1. Выбросы загрязняющих веществ в период строительства

Код	Название вещества	Выброс, г/сут	Выброс, т/год
0123	Железа оксид	0,0000664	0,00139
0143	Марганец и его соединения	0,0000055	0,001090
0301	Азот (IV) оксид (азота диоксид)	0,0007693	0,000393
0328	Углерод черный (сажа)	0,0000739	0,000012
0330	Серы диоксид	0,0001486	0,000024
0337	Углерода оксид	0,0026438	0,001922
0342	Водород фтористый	0,0000043	0,000093
0344	Фтористые соединения плохо растворимые	0,0000046	0,000100
0415	Углеводороды предельные С1-С5	0,0001478	0,000045
2908	Пыль неорганическая (20 % < SiO ₂ < 70 %)	0,0000046	0,000100
2732	Керосин	0,0001944	0,000033

Результаты расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере показали, что воздействие будет минимальным. Таким образом, вклад в загрязнение составит от 2 до 5 % в точках максимума (приходящиеся на территорию промплощадки). В расчетных точках (ближайшие жилые дома) качество атмосферного воздуха практически не изменится. Концентрации выбрасываемых веществ не превысят установленных для них санитарно-гигиенических нормативов для атмосферного воздуха населенных мест.

Основными источниками выбросов загрязняющих веществ от проектируемого объекта на стадии эксплуатации являются четыре устройства выхлопа (дымовые трубы) высотой 10,3 м от каждой установки, через которые в атмосферный воздух поступают отработавшие газы, образовавшиеся при сгорании топлива в камере сгорания газотурбинных установок (ГТУ).

Результаты расчетов показывают, приземные концентрации загрязняющих веществ, создаваемые источниками выбросов — выхлопными трубами ГТУ, в жилой зоне, а также в зоне достижения максимумов не превышают предельно допустимые концентрации.

Для снижения концентрации оксидов азота в отходящих газах до нормативной величины в камеру сгорания газогенераторов впрыскивается вода в смеси с топливом. Для обеспечения объекта обессоленной водой требуемого качества предлагается обессоливающая установка с применением мембранный технологии (обратный осмос). Исходной водой для обессоливающей установки является вода из городского водопровода.

Для уменьшения загрязнения воздушного бассейна при заливе топлива в резервуары предусмотрена система возврата паров, вытесняемых при заполнении резервуара, в автоцистерну через узел рециркуляции паров. Вода на производственные нужды используется для заполнения и подпитки систем охлаждения двигателей техники и автотранспорта [3, 4].

Для предотвращения загрязнения грунтовых вод предусматривается:

- устройство площадок из железобетонных плит на песчаной подложке для складирования строительных материалов в специально отведенном месте;

- специально подготовленная площадка, оборудованная водонепроницаемой канавкой для стока ливневых вод для предотвращения попадания ГСМ при заправке машин.

Воздействие на поверхностные и подземные воды на стадии строительства носит кратковременный характер, воздействие оценено как незначительное и не требует уточненной количественной оценки.

При строительстве МГТЭС образуются виды отходов, представленные в табл. 2.

Отходы, образующиеся в период строительства, минимальны и не опасны (IV, V класс опасности). Они не содержат загрязняющих ве-

Таблица 2. Технологические процессы и виды образующихся отходов

Объект, производственный цех, участок	Технологический процесс, вид деятельности	Виды образующихся отходов
Бытовой городок	Жизнедеятельность персонала, уборка помещений	Мусор бытовых помещений несортированный (исключая крупногабаритный); обрезки и обрывки тканей смешанных
Промплощадка	Сварочные работы, подготовительные работы	Обтирочный материал, загрязненный маслами; остатки и огарки стальных сварочных электродов; сварочный шлак; грунт, образовавшийся при проведении землеройных работ, незагрязненный опасными веществами

ществ, способных оказывать отрицательное воздействие на окружающую среду. Высокая термическая и химическая стойкость, атмосфера- и водостойкость, устойчивость к окислению на воздухе, биостойкость большинства материалов допускает складирование и временное хранение отходов как на открытых площадках, так и в контейнерах.

Правилами экологической безопасности при обращении с указанными видами отходов предусматривается складирование и временное хранение указанных отходов на специально оборудованной площадке в плотно закрывающемся металлическом контейнере [5]. Площадка для хранения емкости с замасленными материалами оборудуется твердым покрытием, исключающим возможную фильтрацию вод (бетонное основание). Обтирочный материал, загрязненный маслами (менее 15 %), и шлак сварочный передаются на дальнейшее использование, переработку сторонним организациям. Захоронение отходов IV и V классов опасности производится в соответствии с договором со специализированной организацией на полигоне твердых бытовых отходов.

Строительство нового временного источника производства электроэнергии будет сопровождаться повышением уровня шума в районе размещения объекта, что связано с работой основного и вспомогательного оборудования. Анализ результатов расчета уровня шумового воздействия от работы газотурбинных установок показывает, что оно не превысит допустимых значений установленных санитарно-гигиенических нормативов.

Общие организационно-технические мероприятия:

— при производстве строительно-монтажных работ складирование материалов и отходов осуществляется в пределах отведенной площадки;

— организация входного контроля строительных конструкций и материалов на предмет соответствия качества применяемых материалов в части содержания токсичных веществ, опасных для растительного и животного мира;

— снижение количества отходов потребления на проектируемом объекте должно быть предусмотрено за счет рациональной организации труда персонала, рационального использования и экономии материальных ресурсов;

— снижение степени опасности образующихся отходов обеспечивается правильным хранением образующихся отходов и своевременным их вывозом на полигоны.

Выводы. 1. МГТЭС оказывают минимальное воздействие на компоненты окружающей среды как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации и демонтажа.

2. Положительный опыт использования мобильных станций на олимпийских объектах можно с успехом перенести на другие территории.

3. Применение мобильных установок можно рассматривать как предварительный этап до создания устойчивой энергетической системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нестеренко, Р.С. Принципы накапливания продуктов горения как решения экологических проблем [Текст] / Р.С. Нестеренко // Альтернативная энергетика и экология. — 2011. — № 2. — С. 76 –80.

2. Щекин, И.Р. Принципы формирования стратегического сценария будущего развития альтернативной энергетики [Текст] / И.Р. Щекин // Альтернативная энергетика и экология. — 2013. — № 17. — С. 113–124.
3. Астахов, А.С. Экологическая безопасность и эффективность природопользования [Текст] / А.С. Астахов, Е.Я. Диколенко, В.А. Харченко. — М., 2009. — 323 с.
4. Марьин, В.К. Экологическая безопасность [Текст] / В.К. Марьин, Э.А. Овчаринов, Д.В. Калашников. — Пенза, 2006. — 372 с.
5. Россия и ее регионы. Внешние и внутренние экологические угрозы [Текст] / под ред. Н.Н. Клюева. — М., 2001. — 216 с.

ЕВГРАФОВА Ирина Михайловна, д-р техн. наук, доц.; E-mail: irina-sen811@yandex.ru

Московский государственный строительный университет

ЛАВРУСЕВИЧ Андрей Александрович, д-р геол.-минер. наук, доц.; E-mail: lavrusevich@yandex.ru

Московский государственный строительный университет

Получено 25.04.14

Evgrafova Irina Mikhaylovna, doctor of technical sciences, assistant professor; E-mail: irina-sen811@yandex.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Lavrusevich Andrey Alexandrovich, doctor of geological and mineralogical sciences, assistant professor; E-mail: lavrusevich@yandex.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

RATIONALE FOR USE GEOECOLOGICAL MOBILE POWER PLANTS

The paper deals with questions about the justification of the use of mobile geoecological power plants to meet peak loads. Determined the impact on the environment and has developed a list of measures for its protection, allowing to quickly solve energy and environmental security. The resulting experience of using mobile power plants in Sochi will allow them to successfully put into practice on the Crimean peninsula.

Key words: geo-ecology, power plants, environmental assessment, environmental impact, environmental safety, environmental management, environmental protection, air, surface water and groundwater, waste, noise.

REFERENCES

1. Nesterenko, R.S. Principles of accumulation of combustion products as solutions to environmental problems [Text] / R.S. Nesterenko // Alternative Energy and Ecology. — 2011. — N 2. — P. 76–80.
2. Shchekin, I.R. Principles of strategic scenarios for the future development of alternative energy [Text] / I.R. Shchekin // Alternative Energy and Ecology. — 2013. — N 17. — P. 113–124.
3. Astakhov, A.S. Environmental safety and efficacy of natural resources [Text] / A.S. Astakhov, E.Ya. Dikolenko, V.A. Kharchenko. — M., 2009. — 323 p.
4. Marin, V.K. Environmental safety [Text] / V.K. Marin, E.A. Ovcharinov, D.V. Kalashnikov. — Penza, 2006. — 372 p.
5. Russia and its regions. External and internal environmental threats [Text] / ed. N.N. Klyuyeva. — M., 2001. — 216 p.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 551.482:53.082.7

В.И. БУКРЕЕВ, В.В. ДЕГТЯРЕВ-мл., В.В. ЗЫКОВ, А.В. ЧЕБОТНИКОВ

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПРЕСНОЙ И СОЛЕНОЙ ВОДЕ*

Приведено описание аппаратуры для измерения температуры в пресной и соленой воде, а также аппаратуры для измерения концентрации соли в соленой воде. Эта аппаратура создана в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (ИГиЛ) и может использоваться как в лабораторных, так и натурных условиях. Разработана методика соответствующих измерений. Представлены результаты исследования метрологических характеристик этой аппаратуры. В опытах, выполняемых в ИГиЛ, широко используются также методы визуализации движения как пресной, так и соленой воды, позволяющие получать обширную качественную и количественную информацию. Приведен фотоснимок процесса потери устойчивости движения стратифицированной по плотности двухслойной жидкости.

Ключевые слова: пресная и соленая вода, стратификация по плотности, аппаратура и методика измерений, визуализация движения.

При строительстве гидротехнического сооружения необходимо учитывать, что это может привести к существенному изменению картины движения воды и, как следствие, к изменению экологии в окрестности сооружения. Исходные данные для соответствующего анализа можно получить в результате опытов на физической модели сооружения. В случае исследований речного гидротехнического сооружения необходимо располагать аппаратурой и методикой измерения скорости движения пресной воды, скорости распространения волн, статического и динамического давления, температуры, плотности и концентрации взвешенных наносов. При проведении опытов в соленой воде необходимо дополнительно располагать аппаратурой и методикой измерения солености, а также учитывать, что плотность соленой воды зависит от типа растворенной соли.

Основные принципы измерения гидрофизических величин кратко описаны в [1]. Методы измерения скорости движения воды и скорости распространения волн более подробно изложены в [2]. В настоящей статье приведена некоторая информация о методах и аппаратуре для измерения других гидрофизических величин. Особое внимание уделяется аппаратуре и методам, используемым в ИГиЛ. Приведена иллюстрация про-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН (проект № 23.9) и Интеграционного проекта СО РАН (проект № 38).

цесса потери устойчивости, обусловленного уникальной физической особенностью воды, а именно: немонотонной зависимостью ее плотности от температуры.

Для измерения температуры в ИГиЛ создан преобразователь резистивного типа. Он пригоден для измерений в любых капельных жидкостях и газах. Его чувствительным элементом является термистор диаметром 0,5 мм, служащий плечом электрического моста. Питание моста осуществляется постоянным током напряжением 1,5 В. Для гидро- и электроизоляции термистор покрыт тонким слоем стекла, так что характерный размер воспринимающего элемента этого преобразователя равен 0,8 мм.

Статическая калибровочная характеристика обсуждаемого преобразователя линейная в широком диапазоне температуры и не зависит от наличия примесей в воде. Она описывается формулой

$$Et = Et_0 - aT, \quad (1)$$

где Et — электрическое напряжение на выходе преобразователя;

Et_0 и a — размерные параметры;

T — измеряемая температура жидкости или газа.

Результаты статической калибровки одного из датчиков температуры в пресной и соленой воде приведены на рис. 1. По оси абсцисс отложена на этом рисунке температура, по оси ординат — электрическое напряжение на выходе преобразователя.

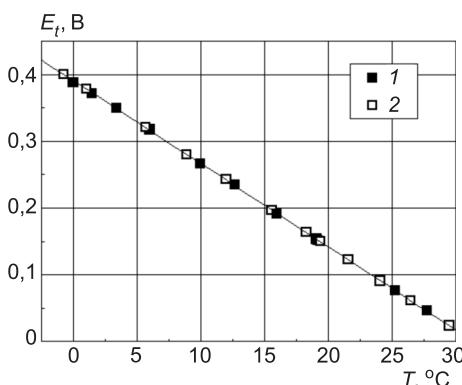


Рис. 1. Статическая калибровочная характеристика преобразователя температуры

1 — пресная вода; 2 — соленая вода

ировалось без искажения. Обсуждаемые преобразователи не позволяют непосредственно измерить температуру на расстояниях от твердой стенки меньше 0,4 мм из-за округлой формы воспринимающего элемента. Поэтому в задачах, где требовалось измерять температуру на твердой стенке, использовались коммерческие преобразователи с плоским воспринимающим элементом. Постоянная времени таких преобразователей примерно в три раза больше, чем у созданного преобразователя.

Для измерения солености воды созданы преобразователи, воспринимающим элементом которых служат два горизонтальных проволочных электродов из платины или никрома диаметром 0,35–0,5 мм и длиной 2–10 мм. Расстояние между электродами составляет 5–10 мм. Питание

датчика осуществляется переменным током частотой 25 кГц и напряжением 2 В. Выходное напряжение этого преобразователя зависит от температуры T , концентрации S и типа соли. Результаты статической калибровки такого преобразователя в водном растворе соли NaCl приведены на рис. 2. В качестве меры солености используется принятое в океанологии отношение: кг соли на кг раствора в %. В диапазонах значений температуры от 0 до 22 °C и солености от 10 до 32 % зависимость выходного напряжения от температуры линейная, а от солености слегка нелинейная. В более узком интервале значений солености нелинейностью можно пренебречь и пользоваться следующей формулой:

$$Es = Es_0 + b_1 T + (b_2 + b_3 T)S, \quad (2)$$

где Es — напряжение на выходе преобразователя;

Es_0, b_1, b_2, b_3 — параметры, определяемые статической калибровкой.

Поскольку эта калибровочная характеристика зависит от типа соли, она должна определяться в тех же растворах, которые используются в конкретном опыте. Уравнения (1) и (2) позволяют определить температуру T и соленость S , используя параметры калибровки и измеренные значения Et и Es .

Динамическая калибровка измерителя солености осуществлялась путем быстрого погружения его электродов из воздуха в соленую воду с заданной температурой и концентрацией соли NaCl. Найдено, что типичное значение постоянной времени этого преобразователя равно примерно 1,5 с.

Плотность раствора определяется эмпирической формулой. Такая формула для морской воды, содержащей разные соли, приведена в [3], а для речной воды с наносами — в [4]. В лабораторных опытах, как правило, используется раствор соли NaCl. В табличной форме зависимость плотности такого раствора от температуры и солености приведена в [5]. По этим данным получены следующие формулы.

Для пресной воды

$$\rho_f(T) = [0,9998395 + 6,7914 \cdot 10^{-5} T - 9,0894 \cdot 10^{-6} T^2 + 1,0171 \cdot 10^{-7} T^3 - 1,2846 \cdot 10^{-9} T^4 + 1,1592 \cdot 10^{-11} T^5 - 5,0125 \cdot 10^{-14} T^6] \cdot 10^3. \quad (3)$$

Для соленой воды

$$\begin{aligned} \rho(T, S) &= \rho_f(T) + \\ &+ (0,75955 - 0,0024 \cdot T - 4,50376 \cdot 10^{-5} T^2 + 1,78947 \cdot 10^{-6} T^3) S + \\ &+ (9,00462 \cdot 10^{-5} + 1,7232 \cdot 10^{-6} T + 7,01764 \cdot 10^{-8} T^2) S^2. \end{aligned} \quad (4)$$

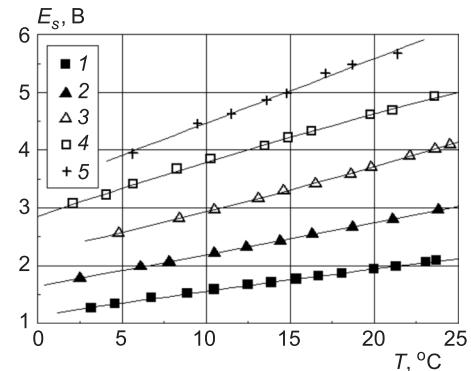


Рис. 2. Пример статической калибровки датчика солености
1 — $S = 10 \%$; 2 — $S = 15 \%$; 3 — $S = 20 \%$;
4 — $S = 25 \%$; 5 — $S = 32 \%$

Плотность в этих формулах дана в $\text{кг}/\text{м}^3$, температура — в градусах Цельсия, соленость — в г соли на кг раствора (в ‰). В диапазонах температуры $0 \leq T \leq 25^\circ\text{C}$ и солености $0 \leq S \leq 40\text{ ‰}$ результаты расчета по этой формуле отличаются от табличных данных [5] не более чем на 0,002 %. Вне указанных диапазонов необходимо использовать большее число членов ряда по аргументам T и S .

График функции (4) приведен на рис. 3. Эта функция немонотонная. В пресной воде эта функция имеет максимум при температуре $3,98^\circ\text{C}$. С ростом солености максимальное значение этой функции уменьшается и смещается в сторону низких температур. При солености примерно 24 ‰ зависимость плотности от температуры становится монотонной [6]. Изменение плотности, обусловленное немонотонной зависимостью плотности воды от температуры и солености, невелико. Для пресной воды оно не превышает 0,013 %. Однако это существенно влияет на картину течения. Например, такой малой величины достаточно, чтобы в пресных водоемах формировался и длительное время существовал весенний и осенний термический бар.

На рис. 4 приведены распределения солености водного раствора поваренной соли по глубине в различные моменты времени в следующем опыте. Прямоугольный горизонтальный лоток длиной 2 м и шириной 0,06 м из оргстекла разделен на две равные части вертикальным затвором. Каждая часть заполнялась водным раствором поваренной соли. Растворы в правой и левой частях имели одинаковую плотность, но разную температуру и разную соленость. Глубины растворов в правой и левой половине лотка, а следовательно, и гидростатическое давление были одинаковыми. В результате этого растворы в правой и левой частях находились в начальном состоянии в равновесии. После удаления затвора состояние системы становится неустойчивым вследствие гидрофизического эффекта, характеризуемого термином «уплотнение при смешении» или «каббелинг». Этот эффект обусловлен отмеченной выше нелинейной зависимостью плотности водного раствора морской или поваренной соли от температуры и солености [3, 6].

По оси абсцисс на рис. 4 отложена соленость, нормированная на среднее значе-

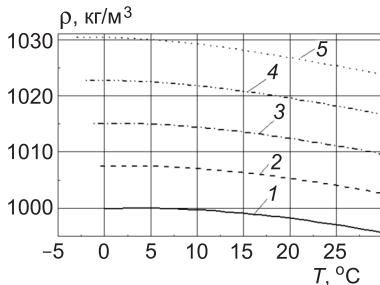


Рис. 3. Зависимость плотности раствора поваренной соли в воде от температуры и солености
1 — $S = 0\text{ ‰}$; 2 — $S = 10\text{ ‰}$; 3 — $S = 20\text{ ‰}$; 4 — $S = 30\text{ ‰}$; 5 — $S = 40\text{ ‰}$

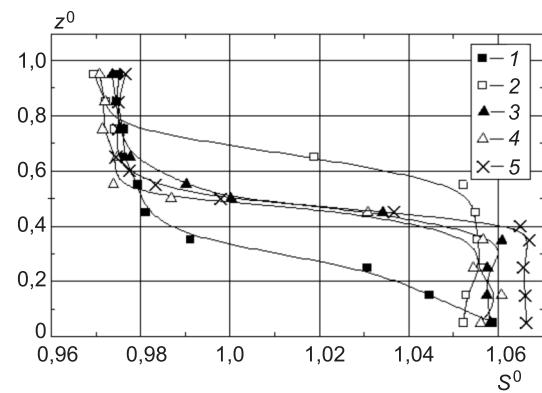


Рис. 4. Профили солености
1 — $t = 910\text{ с}$; 2 — $t = 1550\text{ с}$; 3 — $t = 2770\text{ с}$; 4 — $t = 3500\text{ с}$; 5 — $t = 4500\text{ с}$; $S^0 = \frac{S}{S_*}$; $S_* = \frac{S_1 + S_2}{2} = 18,6\text{ ‰}$; при $x^0 = x/h = -1,5$; $T_1 = 6,2^\circ\text{C}$, $T_2 = 18,7^\circ\text{C}$, $S_1 = 17,193\text{ ‰}$, $S_2 = 20\text{ ‰}$, $h = 0,1\text{ м}$

ние начальных соленостей растворов справа и слева от затвора. По оси ординат приведены значения вертикальной координаты z^0 , нормированные на глубину заливики растворов и отсчитываемые от дна лотка. Данные, приведенные на рис. 4, показывают, что с течением времени устанавливается двухслойное распределение солености с тонким промежуточным слоем. Выравнивание солености и плотности по глубине в данном опыте происходило очень медленно, только за счет молекулярной диффузии. Даже при толщине слоя 0,1 м неравномерность распределения солености сохранялась около двух недель.

Эффективными средствами получения информации о движении жидкости служат методы визуализации в сочетании с видео- и фотосъемкой. При использовании таких методов в обсуждаемых опытах растворов в одной половине лотка окрашивался марганцовкой или чернилами в количестве 0,15 г на литр раствора. В другую половину лотка добавлялось такое же по весу количество поваренной соли. Следует отметить, что даже слабый раствор марганцовки может окислить воспринимающий элемент датчика солености. Поэтому в опытах с визуализацией течения использовались только датчики температуры.

На рис. 5 приведен фотоснимок картины течения в описанном выше опыте. Он демонстрирует одновременное влияние двух эффектов: уплотнение при смешении и двойной диффузии. Термином «двойная диффузия» характеризуется эффект, обусловленный существенным различием скоростей молекулярного переноса тепла и массы [3]. Уплотнение при смешении дестабилизирует течение. Соответствующая неустойчивость на границе окрашенного и неокрашенного растворов видна на рис. 5. Двойная диффузия стабилизирует течение. Процесс молекулярного переноса тепла примерно в сто раз быстрее, чем процесс молекулярного переноса массы. Поэтому с течением времени перемешивание между слоями прекращается.

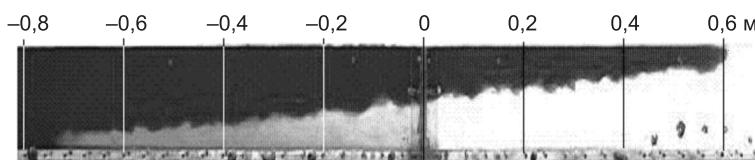


Рис. 5. Совместное влияние уплотнения при смешении и двойной диффузии на течение

$T_1 = 6,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 18,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $S_1 = 17,2 \text{ \%}$, $S_2 = 20 \text{ \%}$; $h = 0,1 \text{ м}$; $t = 105 \text{ с}$

В заключении можно отметить, что разработанная методика исследований и созданная аппаратура позволяют получать всестороннюю информацию о гидрофизических процессах как в натурных условиях, так и в лабораторных опытах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Букреев, В.И. Физическое моделирование водных потоков (введение в способы измерения гидрофизических величин и визуализации движения жидкости) [Текст] / В.И. Букреев, В.В. Дегтярев. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. — 120 с.

2. Букреев, В.И. Экспериментальная установка и методика исследования волн при разрушении плотины [Текст] / В.И. Букреев, В.А. Костомаха, В.В. Дегтярев, А.В. Чеботников // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 6. — С. 46–51.
3. Гилл, А. Динамика атмосферы и океана. Т. 2 [Текст] / А. Гилл. — М. : Мир, 1986. — 416 с.
4. Chen, C.T. Precise thermodynamic properties for natural water covering only the limnological range [Текст] / С.Т. Chen, F.J. Millero // Limnol. Oceanogr. — 1986. — Vol. 31, N 3. — P. 657–662.
5. Переи, Дж. Справочник инженера химика. Т. 1 [Текст] / Дж. Переи. — Л. : Химик, 1969. — 639 с.
6. Зубов, Н.Н. Вычисление уплотнения при смешении морских вод [Текст] / Н.Н. Зубов, Д.С. Сабинин. — М. : Гидрометеоиздат, 1958. — 38 с.

БУКРЕЕВ Виктор Иванович, д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: bukreev@hydro.nsc.ru

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск
ДЕГТАРЕВ-мл. Владимир Владимирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: ngasu_gts@mail.ru*

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЗЫКОВ Виктор Васильевич, инж.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск

ЧЕБОТНИКОВ Алексей Владимирович, канд. техн. наук; E-mail: AVChebotnikov@gmail.com

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск

Получено 16.04.14

Bukreev Victor Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor; E-mail: bukreev@hydro.nsc.ru, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Degtyarev-youn. Vladimir Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: ngasu_gts@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Zykov Victor Vasilevich, engineer, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Chebotnikov Alexey Vladimirovich, candidate of technical sciences, E-mail: AVChebotnikov@gmail.com, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

METHODS OF MEASUREMENT OF HYDRO-PHYSICAL VALUES IN BOTH FRESH AND SALT WATER

It is given the description of the equipment for measurements the temperature in both fresh and salt water, as well as equipment for measuring the concentration of salt in the salt water. This equipment is designed at the Lavrentyev's Institute of Hydrodynamics SB RAS (LIH) and can be used in both laboratory and field conditions. The technique of the corresponding measurements has been created. The results are given of investigation of the metrological characteristics of this equipment. In experiments performed in LIH, imaging techniques of movement widely used in fresh as well as salt water in order to obtain extensive qualitative and quantitative information. Photo of the process of stability loss of motion density stratified two-layer fluid is given.

Key words: fresh and salt water, density stratification, equipment and measurement techniques, visualization of motion.

REFERENCES

1. B u k r e e v, V.I. Physical modeling of water flows (introduction to the methods of measurement of hydro-physical value and visualization of fluid motion) [Text] / V.I. Bukreev, V.V. Degtyarev. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2008. — 120 p.
 2. B u k r e e v, V.I. Experimental setup and technique to study waves due to partially dam break [Text] / V.I. Bukreev, V.A. Kostomakha, V.V. Degtyarev, A.V. Chebotnikov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2006. — N 6. — P. 46–51.
 3. G i l l, A. Atmosphere–Ocean Dynamics: Vol. 2 [Text] / A. Gill. — New York : Academic Press, 1982. — 400 p.
 4. C h e n, C.T. Precise thermodynamic properties for natural water covering only the limnological range [Текст] / C.T. Chen, F.J. Millero // Limnol. Oceanogr. — 1986. — Vol. 31, N 3. — P. 657–662.
 5. P e r r y, J. Chemical engineer’s handbook. Vol. 1 [Text] / J. Perry. — L. : Chemist, 1969. — 639 p.
 6. Z u b o v, N.N. Calculation of contraction on mixing of sea water [Text] / N.N. Zubov, D.S. Sabinin. — M. : Gidrometeoizdat, 1958. — 38 p.
-

УДК 621.01

В.П. ГИЛЕТА, А.В. БАРИС

ЦЕПНАЯ ВОЛНОВАЯ ПЕРЕДАЧА

Предложена конструкция волновой передачи, в качестве гибкого колеса которой использована пальцевая цепь. Волновая передача позволяет реализовать диапазон передаточных отношений от 2 до 80. Закон деформирования пальцевой цепи задан гармоническими колебаниями внутренних углов многоугольника, построенного на центрах шарниров цепи. Работоспособность волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи проверена на макетах с передаточными отношениями 6, 8 и 10.

Ключевые слова: волновая передача, пальцевая цепь, шарниры цепи, генератор, звездочка, жесткое колесо.

Волновые передачи имеют перспективную область применения в механизмах поворота строительных кранов, механизмах передвижения экскаваторов, мотор-барабанах приводов конвейеров и приводах оборудования для производства строительных материалов [1]. Несмотря на неоспоримые достоинства, волновые передачи имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что нижнее значение диапазона передаточных отношений равно 80. Однако большинство редукторов общего назначения имеет передаточные отношения до 80. Актуальной задачей является расширение области применения волновых передач за счет снижения минимально допустимого передаточного отношения. Для решения этой задачи были предложены различные конструкции волновых передач. Так, в качестве материала гибкого колеса использовался материал с низким модулем упругости — капролон, что позволило снизить передаточное отношение до 15. Передаваемые мощности волновых передач с пластмассовыми гибкими колесами ограничиваются предельно допустимым нагревом гибкого колеса и низкими удельными давлениями в зоне зацеплений зубьев [2]. Предлагалось использовать в качестве гибкого колеса стандартную многорядную роликовую цепь [3]. Волновая передача имела трехрядную стандартную роликовую цепь, роликовый генератор волн, жесткое колесо внутреннего зацепления, выполненное совместно с корпусом, и звездочку внутреннего зацепления, установленную неподвижно на выходном валу, зацепляющуюся с крайним рядом цепи. Волновая передача обеспечивала диапазон передаточных отношений от 10 до 50. Основным недостатком волновой передачи явилось нарушение расчетного зацепления роликов цепи с зубьями жесткого колеса и звездочки ввиду перекоса цепи при выборе зазоров между подвижными деталями цепи из-за консольной нагрузки на цепь со стороны звездочки. Перекос цепи приводил к кромочному контакту роликов цепи с зубьями жесткого колеса и звездочки.

Для обеспечения передаточных отношений волновой передачи в диапазоне от 2 до 80 предложена принципиально новая конструкция волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи (рис. 1).

© Гилета В.П., Барис А.В., 2014

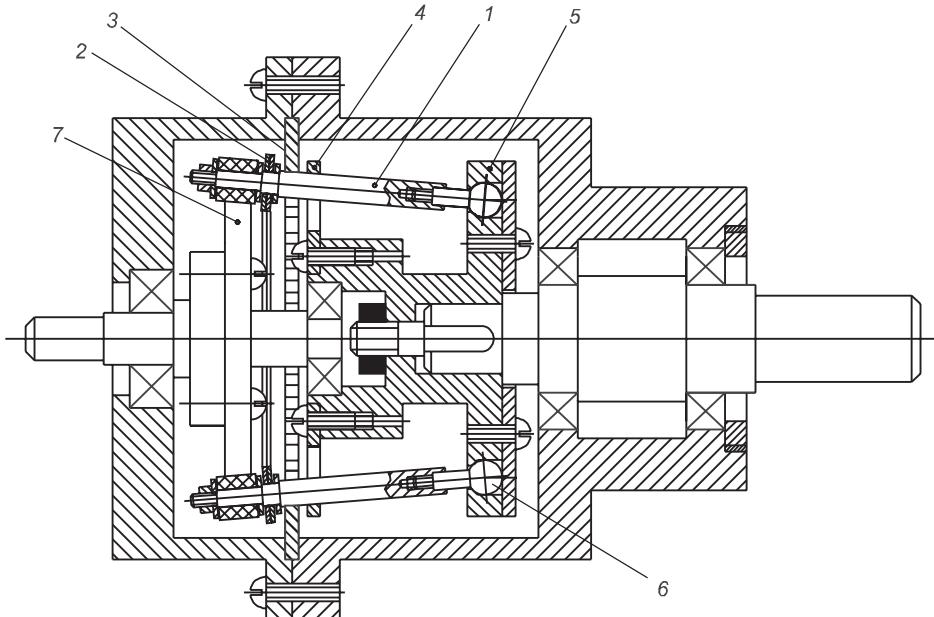


Рис. 1.

Пальцевая цепь состоит из пальцев 1, объединенных пластинами 2. Шарниры цепи, образованные соединением пальцев пластинами, допускают взаимные повороты пальцев вокруг трех осей. Передача имеет неподвижное жесткое колесо 3 и звездочку выходного вала 4, обладающую внутренними и наружными зубьями. Для устранения консольного нагружения пальцев цепи на выходном валу находится опорный диск 5, на котором при помощи сферических опор 6 установлены пальцы. Количество пальцев равно количеству зубьев звездочки. Волновая передача имеет кулачковый генератор волн 7, ось которого концентрична выходному валу.

Передаточное отношение волновой передачи от генератора к звездочке при неподвижном жестком колесе определяется по формуле

$$i = -\frac{n_g}{n_k - n_g}, \quad (1)$$

где n_g — количество пальцев цепи;

n_k — количество зубьев жесткого колеса.

Знак «-» указывает на то, что входной и выходной валы вращаются в разных направлениях. Как и для традиционных волновых передач введем понятие числа волн деформации, равное количеству звеньев цепи, укладывающихся в одной волне деформации:

$$n_k - n_g = K_z \cdot U, \quad (2)$$

где K_z — коэффициент разности чисел зубьев;

U — число волн деформации.

Подставив (2) в равенство (1), получим

$$i = -\frac{n_g}{K_z \cdot U}.$$

Генератор волн взаимодействует с пальцами в непосредственной близости к зоне расположения пластин цепи, заставляя цепь совершать волновые движения. При этом каждый палец относительно выходного вала совершает движение, которое можно охарактеризовать как движение твердого тела относительно неподвижной точки, являющейся центром сферической опоры пальца.

Для профилирования рабочей поверхности генератора, зуба жесткого колеса и звездочки необходимо знать закон движения шарниров цепи. При количестве звеньев цепи свыше 20, что при $K_z = 1$ и $U = 2$ соответствует передаточному отношению 10, можно пренебречь изменением дугового шага цепи в ее движении относительно генератора. В этом случае можно воспользоваться методикой геометрического синтеза, описанной в [4]. Для передаточных отношений волновой передачи в диапазоне от 2 до 10 в значительной степени сказывается эффект расположения центров шарниров цепи на генераторе волн по многоугольнику, что приводит к изменению дугового шага цепи при ее движении относительно генератора. В этом случае неправомерно задаваться формой деформирования гибкого колеса как при расчете традиционных волновых передач, так как эта форма изначально не позволяет компенсировать изменение дугового шага гибкого колеса. В законе движения цепи должно учитываться постоянство расстояния между центрами шарниров цепи. Закон деформирования гибкого колеса можно задать гармоническими колебаниями внутренних углов β многоугольника, построенного на центрах шарниров цепи, на основании условия, что сумма внутренних углов любого выпуклого многоугольника равна

$$\sum_{1}^{n_g} \beta_n = \pi \cdot (n_g - 2).$$

Сделано допущение, что пластины движутся в одной плоскости, перпендикулярной оси передачи и находящейся на расстоянии L от плоскости, проходящей через центры сферических опор пальцев. Для двухволнового генератора противоположные внутренние углы многоугольника равны. Так, например, для шестизвездной цепи $\beta_1 = \beta_4; \beta_2 = \beta_5; \beta_3 = \beta_6$ (рис. 2).

В общем виде для внутренних углов β

$$\beta_j = \theta + \chi \cdot \sin \left(\omega_c \cdot t + (j-1) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot U}{n_g} + \varphi_0 \right), \quad (3)$$

где $\theta, \chi, \omega_c, \varphi_0$ — среднее значение, амплитуда, частота, начальная фаза колебаний углов β соответственно;

t — параметр;

$j = \frac{n_g}{U}$ — количество звеньев цепи в одной волне деформации.

Траектории движения центров шарниров цепи определяются методами векторного контура и преобразования координат. На центрах шарниров цепи строится векторный контур $\bar{a}_1 + \bar{a}_2 + \bar{a}_3 + \bar{a}_4 + \bar{a}_5 + \bar{a}_6 = 0$.

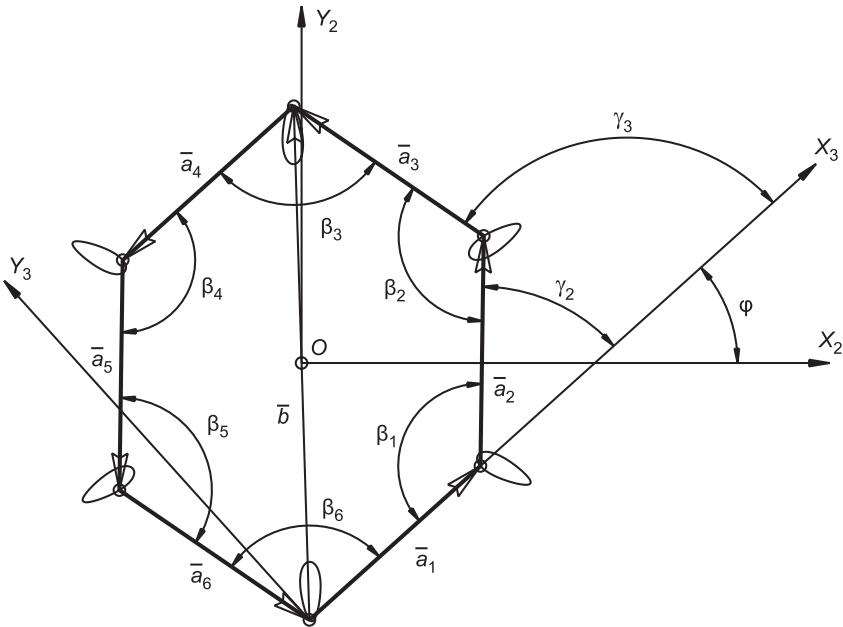


Рис. 2.

Длина векторов по абсолютному значению равна шагу цепи. С одним из векторов связывается система координат $X_3Y_3Z_3$, в которой определяются траектории движения центров шарниров цепи. Для определения траекторий центров шарниров цепи в системе координат, связанной с выходным валом, записываются уравнения траекторий центров шарниров цепи в системе координат $X_2Y_2Z_2$, имеющей начало в центре гибкого колеса и повернутой относительно системы координат $X_3Y_3Z_3$ на угол

$$\varphi = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_{n_g}}{6},$$

где $\gamma_{1,2,\dots,n_g}$ — средний угол поворота каждого из векторов \bar{a} к оси X_3 . Центр гибкого колеса можно определить как середину диагонального вектора, например, вектора $\bar{b} = \bar{a}_1 + \bar{a}_2 + \bar{a}_3$. Все траектории движения центров шарниров цепи в системе координат $X_2Y_2Z_2$ идентичны друг другу и сходны по форме с траекториями точек, принадлежащих кроме гибкого колеса традиционной волновой передачи.

Ось каждого пальца движется по конической траектории, описываемой движением образующей конуса с вершиной в центре сферической кинематической пары C по направляющей, являющейся траекторией движения центра шарнира пальцевой цепи W в системе координат $X_2Y_2Z_2$, связанной с выходным валом (рис. 3):

$$\left. \begin{aligned} x_{2W} &= f_{x2}(t), \\ y_{2W} &= f_{y2}(t), \\ z_{2W} &= L. \end{aligned} \right\}$$

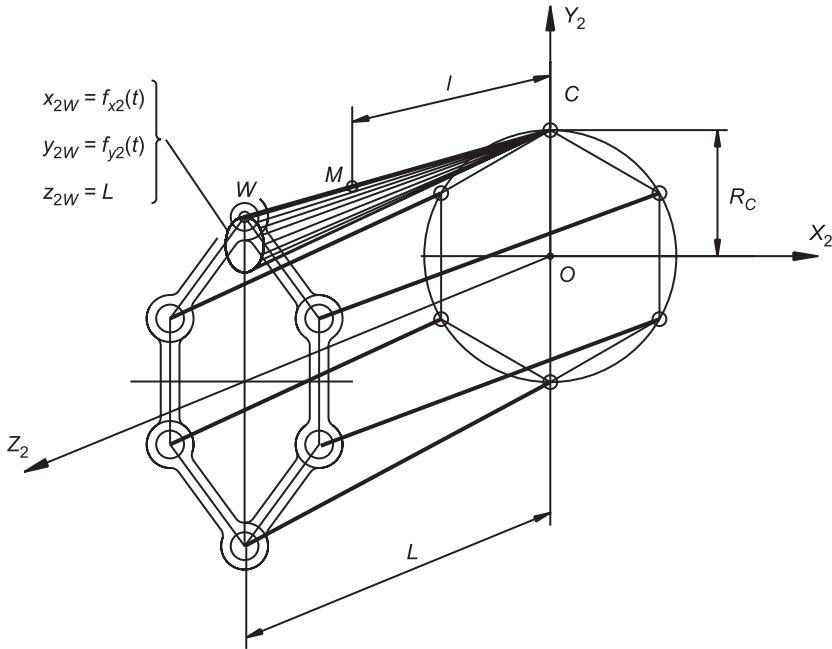


Рис. 3.

Для любой точки M , принадлежащей оси пальца:

$$\left. \begin{aligned} x_{2M} &= x_{2W} \cdot \frac{l}{L}, \\ y_{2M} &= R_C + (y_{2W} - R_C) \cdot \frac{l}{L}, \\ z_{2M} &= \sqrt{l^2 - x_{2M}^2}, \end{aligned} \right\}$$

где l — расстояние между точками C и M ;

R_C — радиус расположения центров сферических опор на опорном диске.

Относительно генератора и жесткого колеса каждый палец цепи совершает движение, которое можно охарактеризовать как сложное движение твердого тела. Сложное движение пальца складывается из относительного движения пальца в системе координат $X_2Y_2Z_2$, связанной с выходным валом, и переносных движений выходного вала относительно генератора и жесткого колеса. Траектории движения осей пальцев находятся преобразованием координат точек M из системы координат $X_2Y_2Z_2$ в системы координат XYZ и $X_1Y_1Z_1$, связанные с генератором и жестким колесом соответственно.

Ввиду того что пальцы цепи имеют цилиндрическую рабочую поверхность, рабочие поверхности генератора, зубьев жесткого колеса и звездочки находятся путем построения эквидистантных поверхностей к траекториям движения осей пальцев в системах координат XYZ , $X_1Y_1Z_1$ и $X_2Y_2Z_2$ соответственно.

Для подтверждения теоретических обоснований геометрического синтеза волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи были



Рис. 4.

изготовлены рабочие макеты с передаточными отношениями, равными 6, 8 (рис. 4) и 10. Макеты при испытаниях показали плавную работу, чем доказывается приемлемость расчетной методики. Таким образом, для волновой передачи возможна реализация передаточных чисел в диапазоне от 2 до 80.

Выводы. Предложена волновая передача с гибким колесом в виде пальцевой цепи, обеспечивающая диапазон передаточных отношений от 2 до 80.

Закон движения цепи задан гармоническими колебаниями внутренних углов многоугольника, построенного на центрах шарниров цепи, что позволяет учитывать изменение дугового шага цепи, вызванного расположением центров шарниров цепи на генераторе волн по многоугольнику.

Истинность теоретических предположений, положенных в основу геометрического синтеза волновой передачи с гибким колесом в виде пальцевой цепи, подтверждается экспериментальной проверкой макетов на работоспособность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, Д.П. Волновые передачи и их применение в строительных и дорожных машинах [Текст] / Д.П. Волков, А.Ф. Крайнев, А.И. Жидяев. — М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1970. — 68 с.
2. Непомнящих, Г.Е. Экспериментальное исследование волнового зубчатого редуктора из пластмассы [Текст] / Г.Е. Непомнящих, В.Н. Татищев // Волновые передачи: сб. трудов. — М. : Моск. правда, 1975. — С. 202–215.
3. Сычев, А.А. Волновая передача с применением стандартной многорядной втулочно-роликовой цепи [Текст] / А.А. Сычев // Вестн. машиностроения. — 1971. — № 9. — С. 41–43.
4. Барис, А.В. Профилирование зубьев волновой передачи [Текст] / А.В. Барис, В.П. Гилета // Докл. Академии наук высшей школы Российской Федерации. — 2013. — Вып. 1(20) январь–июнь. — С. 80–86.

ГИЛЕТА Владимир Павлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: pmx08@mail.ru
Новосибирский государственный технический университет
БАРИС Андрей Викторович, асп.; E-mail: andrey-mak@ngs.ru
Новосибирский государственный технический университет

Получено 02.04.14

Gileta Vladimir Pavlovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: pmx08@mail.ru, Novosibirsk State Technical University, Russia
Baris Andrey Victorovich, post-graduate student; E-mail: andrey-mak@ngs.ru, Novosibirsk State Technical University, Russia

THE CHAIN OF WAVE DRIVE

A method to apply a bushing chain as a flexible gear in the wave drive is proposed. A wave drive enables transmission ratio from 2 to 80. A principle of a deformation of the bushing chain is determined by the harmonic oscillations of the interior angles of a polygon, which is ready-built on centers of joints of the chain. A workability of the wave drive is checked on the prototypes. The prototypes have transmission ratios 6, 8 and 10.

Key words: wave drive, bushing chain, joints of the chain, generator, star wheel, rigid gear.

REFERENCES

1. Volkov, D.P. Wave transmissions and their application in construction and road machines [Text] / D.P.Volkov, A.F. Kraynev, A.I. Zhidyev. — M. : CNIITestroymash, 1970. — 68 p.
 2. Nepomnyashchikh, G.E. Experimental study of wave plastic drive [Text] / G.E. Nepomnyashchikh, V.N. Tatishchev // Wave transmissions proceedings. — M. : Mosk. pravda, 1975. — P. 202–215.
 3. Sychev, A.A. Wave transmission by using a standard bolt multi-row roller chain [Text] / A.A. Sychev // Journal of mechanical engineering. — 1971. — N 9. — P. 41–43.
 4. Baris, A.V. The profiling of the teeth of the harmonic drive [Text] / A.V. Baris, V.P. Gileta // Reports of the Academy of Sciences of higher school of the Russian Federation. — 2013. — Issue 1(20) January–June. — P. 80–86.
-

УДК 624.011.1

Г.А. СТОЛПОВСКИЙ, В.И. ЖАДАНОВ, М.А. АРКАЕВ, В.Б. ЗИНОВЬЕВ

ОСОБЕННОСТИ РАССТАНОВКИ ВИТЫХ СТЕРЖНЕЙ В УЗЛОВЫХ СОПРЯЖЕНИЯХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Исследованы особенности напряженно-деформированного состояния древесины в зоне забивки стержней методами фотоупругих покрытий. Предложена методика оценки допустимого расстояния между стержнями, устанавливаемыми в деревянный элемент, позволяющая исключить раскалывание деревянного элемента при их забивке.

Ключевые слова: витые стержни, деревянный брус, сопряжения деревянных конструкций, метод фотоупругих покрытий, расстояния между стержнями.

Для повышения несущей способности узловых сопряжений деревянных элементов на кафедре строительных конструкций Оренбургского государственного университета разработан новый тип соединительного элемента в виде крупноразмерного витого стержня крестообразного поперечного сечения [1, 2], выполненного из термически обработанной стали. Главным преимуществом таких стержней по сравнению с традиционными нагелями является возможность их внедрения в массив древесины без предварительной рассверловки отверстий при помощи тяжелого молотка, электро- или пневмоинструмента, а также огнестрельным способом (рис. 1).

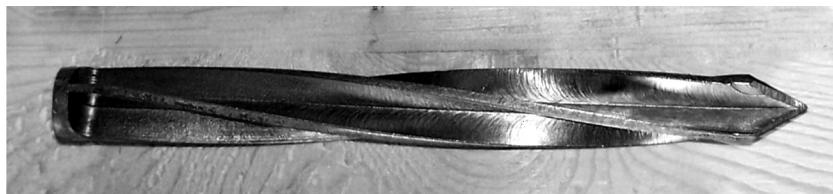


Рис. 1. Стальной витой стержень

Применение нового типа соединительного элемента в узлах деревянных конструкций вызывает необходимость изучения напряженно-деформированного состояния как самого соединительного стержня, так и массива древесины в зоне его забивки. Без таких исследований практическое использование предлагаемых соединений невозможно, так как инженер-проектировщик должен иметь четкую методику расчета и конструирования узлов деревянных конструкций на витых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание, изгиб или на совместное действие этих усилий. Такая методика должна базироваться на объективном анализе прочности и жесткости соединений в зависимости от их фактических параметров. Данная статья посвящена исследованию вопросов правильной расстановки витых стержней в соединениях деревянных конструкций.

В настоящее время известен ряд различных экспериментальных методов, которые широко используются для исследования напряженно-де-

формированного состояния и прочности строительных конструкций, в том числе деревянных [3]. Однако при исследовании деревянных элементов чувствительности стандартных методов, как правило, недостаточно. С целью повышения чувствительности применяются различные способы компенсации, которые позволяют определять дробную часть порядка интерференционной полосы.

Рассмотрим оптическую схему, представленную на рис. 2. Эта схема отличается от стандартных тем, что угол между главными осями поляризатора и анализатора отклоняется от прямого на некоторый угол β . Колебания E_1 и E_2 пройдут через нагруженную модель с разной скоростью,

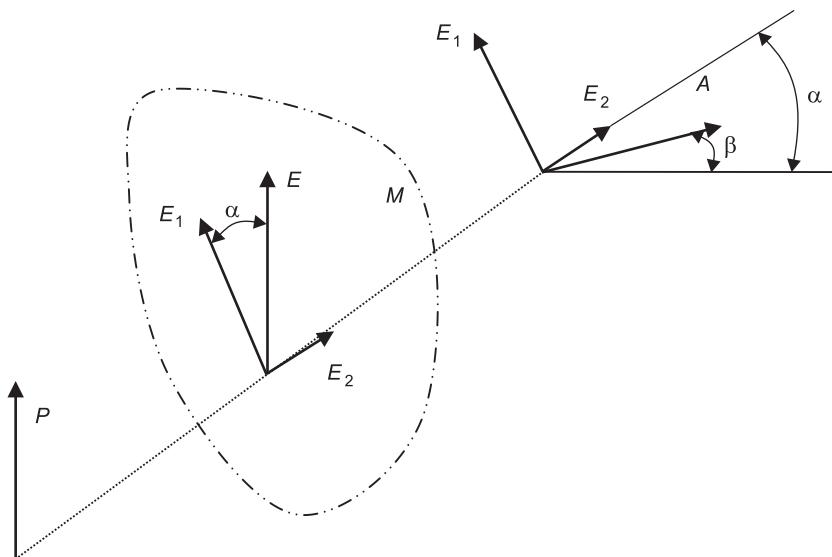


Рис. 2. Оптическая схема образования фотоупругих полос

т.е. за разное время. После прохождения анализатора получим два колебания, равные проекциям векторов E_1 и E_2 на направление плоскости пропускания анализатора:

$$\begin{aligned} E_1^* &= E_0 \sin\omega(t-t_1) \cos\alpha \sin(\alpha - \beta); \\ E_2^* &= E_0 \sin\omega(t-t_2) \sin\alpha \cos(\alpha - \beta). \end{aligned} \quad (1)$$

С помощью тригонометрических формул выражение (1) можно записать как:

$$\begin{aligned} E_1^* &= \frac{1}{2} E_0 \sin\omega(t-t_1) (\sin(2\alpha - \beta) + \sin\beta); \\ E_2^* &= \frac{1}{2} E_0 \sin\omega(t-t_2) (\sin(2\alpha - \beta) - \sin\beta). \end{aligned}$$

Эти два колебания интерферируют, и видимой будет картина, описываемая разностью колебаний:

$$\begin{aligned} E^* &= \frac{1}{2} E_0 (\sin(2\alpha - \beta)(\sin\omega(t-t_1) - \sin\omega(t-t_2)) - \\ &- \sin\beta(\sin\omega(t-t_1) + \sin\omega(t-t_2))). \end{aligned}$$

Применяя формулы для разности и суммы синусов, получим:

$$E^* = E_0 \left(\sin(2\alpha - \beta) \sin \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) \cos \omega \left(t - \frac{t_1 - t_2}{2} \right) - \right. \\ \left. - \sin \beta \cos \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) \sin \omega \left(t - \frac{t_1 - t_2}{2} \right) \right).$$

Таким образом, после анализатора будут получены две волны, измениющиеся по закону косинуса и синуса одного и того же аргумента. Результатом сложения этих двух колебаний будет гармоническое колебание, квадрат амплитуды которого равен сумме квадратов амплитуд исходных колебаний. Следовательно, интенсивность света в интерференционной картине описывается выражением:

$$I = kE_0^2 (\sin^2(2\alpha - \beta) \sin^2 \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) + \sin^2 \beta \cos^2 \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2)).$$

Интенсивность света будет минимальна в двух случаях.

Во-первых, в точках, где $\cos \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) = 0$, при этом $\sin(2\alpha - \beta)$ должен быть равен нулю т. е. изоклина $\alpha - \frac{\beta}{2}$ наблюдается в точках, где разность хода лучей вдоль главных направлений составляет $\left(\pi N + \frac{\pi}{2}\right)\lambda$.

Во-вторых, если $\cos \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) \neq 0$, т.е. минимум интенсивности отмечается в точках, где

$$\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) = - \frac{\sin \beta}{\sin(2\alpha - \beta)}$$

или

$$\frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) = \pi N - \operatorname{arctg} \frac{\sin \alpha}{\sin(2\alpha - \beta)}.$$

Следовательно, наблюдается картина с дробным порядком полос. Вдоль изоклины 45° ($\alpha = \frac{\pi}{4}$) разрешающее уравнение имеет вид

$$\frac{\omega}{2} (t_1 - t_2) = \pi N - \beta, \text{ и порядок полосы равен } N - \frac{\beta}{\pi}.$$

В качестве источника света использовалась установка Т 300 (рис. 3), предназначенная для исследования прозрачных моделей, в связи с чем картина интерференционных полос регистрировалась с помощью цифрового фотоаппарата SAMSUNG, а не штатным анализатором.

В ряде работ [4] отмечено, что затухание возмущения, вызванного приложением самоуравновешенной нагрузки, носит экспоненциальный характер. Так как возмущение, вызванное внедрением стержня, самоуравновешенное, то можно предположить, что затухание величины по-

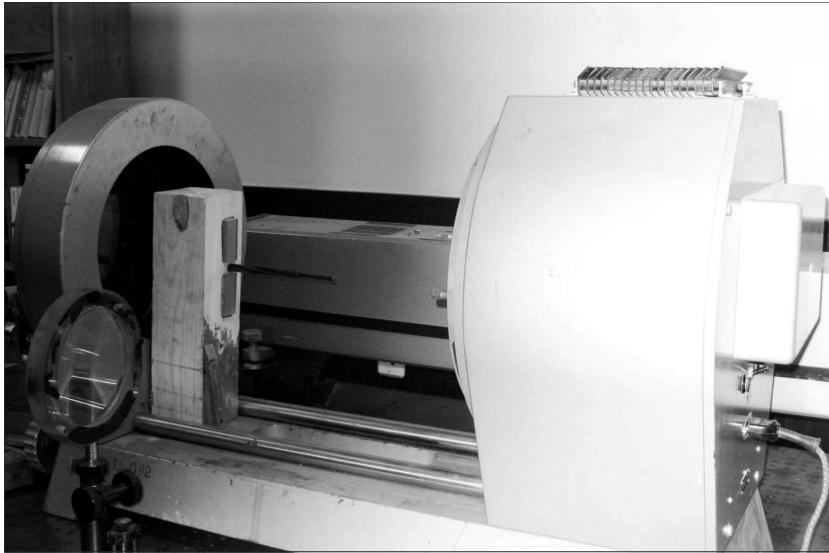


Рис. 3. Фотография установки Т 300 с исследуемым образцом

рядков изохром близко к экспоненциальному и может быть описано выражением:

$$N = Ce^{-\frac{x}{\tau}}, \quad (2)$$

где τ — постоянная, характеризующая скорость затухания возмущения, определяется как расстояние, на котором возмущение убывает в e раз; x — координата, отсчитываемая вдоль волокон древесины.

Из [3] следует, что

$$N = \frac{2d \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon^{1,0}} \quad \text{и} \quad \ln N = \ln(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + \ln \frac{2d}{\varepsilon^{1,0}} = \ln(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + C,$$

где C — константа.

Следовательно, быстрота изменения $\ln N$ совпадает с быстротой изменения логарифма разностей главных деформаций на поверхности исследуемого тела, и постоянная τ , определенная для величины N , характеризует скорость затухания главных сдвиговых деформаций.

В уравнении (2) три неизвестные величины. Это N , так как во время забивания стержня картины полос не регистрировались, то абсолютная величина N неизвестна. Известно только, что при $\beta = 0$, N целое число. Вторая неизвестная C , наибольший порядок полосы вблизи стержня. И, наконец, собственно искомая величина τ . Указанные величины могут быть найдены из решений системы трех уравнений типа:

$$N + \frac{i}{6} = Ce^{-\frac{x_i}{\tau}}, \quad (3)$$

где $i = 0, 1, 2, 3$ для картин полос с β , равным 0, 30, 60 и 90° соответственно; x_i — координата центра темной полосы на соответствующей картине полос.

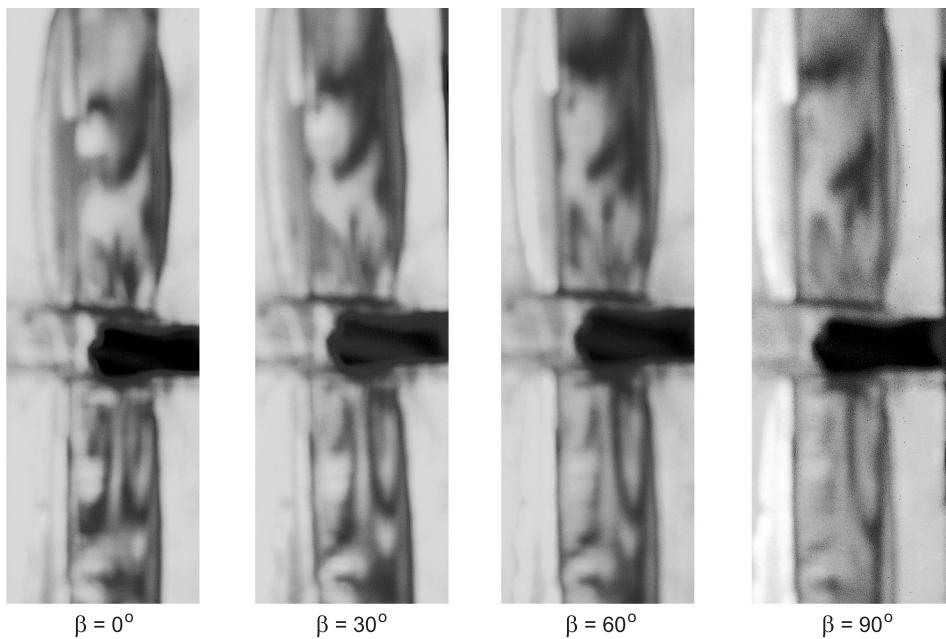


Рис. 4. Картины полос вблизи стержня 16 мм (забит на 100 мм)

Так как картин полос четыре (рис. 4), а для нахождения искомых величин необходимы данные, полученные по трем картинам, поэтому возможны четыре различные системы уравнений.

Системы уравнений решались с помощью программы MathCad (таблица). При вычислении постоянной затухания τ применялся метод последовательных приближений. Координаты центров темных полос варьировались произвольным образом в пределах, допускаемых погрешностью, чтобы N во всех четырех случаях было близко к целому числу. Вычисле-

Результаты решения систем уравнений

Сочетания i	0, 1, 2	0, 1, 3	0, 2, 3	1, 2, 3
<i>Стержень 14 мм (забит на 5 см)</i>				
N	1,088	1,048	1,024	1,007
C	2,293	2,219	2,286	2,308
$\tau, \tau_{cp} = 0,80$ см	0,842	0,808	0,782	0,760
<i>Стержень 14 мм (забит на 10 см)</i>				
N	1,088	1,001	0,95	0,92
C	2,76	2,78	2,84	2,97
$\tau, \tau_{cp} = 1,61$ см	1,80	1,65	1,54	1,45
<i>Стержень 16 мм (забит на 10 см)</i>				
N	1,098	1,01	0,954	0,944
C	2,066	2,02	2,027	2,07
$\tau, \tau_{cp} = 1,87$ см	2,105	1,92	1,79	1,69

ние τ для стержня с характерным размером 16 мм при внедрении на 5 см не производилось, так как анализ деформированного состояния вблизи стержня 14 мм показал, что постоянная затухания значительно возрастает при забивании на всю толщину бруса.

Для исключения раскалывания деревянного элемента при забивке в него стержней расстояние между стержнями принимается таким, чтобы в области наложения напряжений, обусловленных забивкой двух соседних стержней, величина каждого из напряжений снижалась до 5 % от максимальной величины. Данное уменьшение происходит на расстоянии, равном $2,5t$, значит, расстояние между соседними стержнями следует принимать равным $5t$. Нужно отметить, что решение системы уравнений (3) сильно зависит от точности определения центров полос, поэтому указанные величины можно рекомендовать как нижний предел при расстановке стержней.

Вывод. Исследования особенностей напряженно-деформированного состояния древесины в зоне забивки стержней методами фотоупругих покрытий позволили установить минимально допустимые расстояния между осями витых стальных стержней крестообразного поперечного сечения при их забивке в массив древесины в направлении поперек волокон:

- между осями стержней и от оси стержня до торца деревянного элемента в направлении вдоль волокон — $S_1 \geq 6d$;
- между осями стержней в направлении поперек волокон древесины — $S_2 \geq 3d$;
- от оси стержня до кромки деревянного элемента в направлении поперек волокон — $S_3 \geq 3d$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. № 2353830 РФ. МПК F16B 13/00. Соединение деревянных элементов строительных конструкций [Текст] / П.А. Дмитриев, В.Н. Шведов, Г.А. Столповский, Д.А. Украинченко. — Опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12. — 6 с.
2. Лисов, С.В. Экспериментальные исследования соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых стержнях [Текст] / С.В. Лисов, Г.А. Столповский // Вестн. ОГУ. — 2011. — № 4. — С. 161–163.
3. Алтури, С. Экспериментальная механика: в 2-х кн. / под ред. А. Кобаяси [Текст] / С. Алтури, А. Кобаяси, Д. Дэлли и др. — М. : Мир, 1990.
4. Жилкин, В.А. Определение зоны краевого эффекта с помощью метода голографического муара [Текст] / В.А. Жилкин, В.Б. Зиновьев // Журн. приклад. механики и техн. физики. — 1986. — № 5. — С. 132–135.

СТОЛПОВСКИЙ Георгий Александрович, канд. техн. наук, ст. препод.; E-mail: stolpovskij@mail.ru

Оренбургский государственный университет

ЖАДАНОВ Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: organ-2003@bk.ru

Оренбургский государственный университет

АРКАЕВ Максим Александрович, ассист.; E-mail: arkaevrus@mail.ru

Оренбургский государственный университет

ЗИНОВЬЕВ Владимир Борисович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vera_zina@mail.ru

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 23.04.14

Stolpovsky Georgy Alexandrovich, candidate of technical sciences, senior lecturer; E-mail: stolpovskij@mail.ru, Orenburg State University, Russia

Zhadanov Victor Ivanovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: organ-2003@bk.ru, Orenburg State University, Russia

Arkaev Maxim Alexandrovich, lecturer; E-mail: arkaevrus@mail.ru, Orenburg State University, Russia

Zinovyev Vladimir Borisovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: vera_zina@mail.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

FEATURES OF TWISTED ROD ARRANGEMENT IN NODAL INTERFACES OF WOODEN CONSTRUCTIONS

Researches of features of an intense deformed condition of wood in a zone of clogging of rod by methods of stress-optical coverings are conducted. The technique of an assessment of admissible distance between the rod stock established in a wooden element, which allowed to exclude splitting of a wooden element in time of their clogging is offered.

Key words: twisted rod, wooden bar, interfaces of wooden constructions, a method of stress-optical coverings, distances between rods.

REFERENCES

1. Pat. № 2353830 Russian Federation. MPK F16B 13/00. Connection of wooden elements of structural designs [Text] / P.A. Dmitriev, V.N. Shvedov, G.A. Stolpovsky, D.A. Ukrainchenko. — Publ. 27.04.2009, Bull. N 12. — 6 p.
 2. Lisov, S.V. The experimental researchers of connection of wooden designs on steel screw rod elements [Text] / S.V. Lisov, G.A. Stolpovsky // Vestnik OSU. — 2011. — N 4. — P. 161–163.
 3. Alturi, S. The experimental mechanics: in 2 books / under the edit. of A. Kobayasi [Text] / S. Alturi, A. Kobayasi, D. Daly etc. — M. : World, 1990.
 4. Zhilkin, V.A. Finding of a zone of an edge effect by means of a method of holographic moire [Text] / V.A. Zhilkin, V.B. Zinovyev // Magazine of mechanics and technical physics. — 1986. — N 5. — P. 132–135.
-

УДК 628.49

**А.Д. ПОТАПОВ, О.В. ТУПИЦЫНА, А.Н. СУХОНОСОВА,
А.А. САВЕЛЬЕВ, Б.М. ГРИШИН, К.Л. ЧЕРТЕС**

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЯЕМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ

Предложены основные технологические подходы к восстановлению территорий, нарушенных размещением отходов. Они включают принципы дифференцирования области нарушения на базовые составляющие, обеспечения области подобия состава и свойств базовых составляющих, а также максимального использования ресурсного потенциала свалочного массива и территории в зоне его влияния. Представленные положения были использованы для оценки состояния и обоснования методов рекультивации свалки г. Жигулевска Самарской области.

Ключевые слова: отходы, свалочный массив, нарушенные территории, рекультивация.

Особую опасность для экосистем представляют объекты размещения органоминеральных отходов — свалки и накопители, стихийно сформированные более 30 лет назад с нарушениями требований природоохранного законодательства и пребывающие в естественных условиях без производства восстановительных работ. Необходимость восстановления нарушенных территорий требует применения технологий их обезвреживания. При этом обработке подвергается весь свалочный массив без учета естественной ассимиляции его отдельных фрагментов при долговременном контакте с окружающей средой [1]. Значительные объемы работ при воздействии на всю толщу свалочного грунта являются причинами увеличения стоимости рекультивации. Кроме того, происходит вторичное загрязнение геосреды при нарушении сплошности свалки.

Минимизация затрат и экологических издержек возможна с использованием комплексного подхода к восстановлению территорий. Для этого предлагается учитывать особенности строения свалочного массива, наличие в его толще неоднородных фрагментов и степень их неоднородности. Выбор метода обезвреживания требует оценки размеров свалки, а также изучения физико-химического и биохимического состава свалочного грунта, газовой вытяжки и фильтрата [2]. Для этого определяют влажность, зольность и плотность свалочного грунта и содержание основных токсикантов как в грунте, так и в газовой вытяжке и фильтрате.

Использование физико- и биохимических показателей позволяет оценить степень воздействия свалки на геосреду и наметить пути обезвреживания массива с применением таких технологий, как активная и пассивная дегазация, отвод отжимной влаги, техническое и биологическое экранирование. Однако набора физико- и биохимических показателей явно недостаточно, если требуется обосновать направление использования рекультивированной территории. Ее вовлечение в строительно-хозяйственный оборот

© Потапов А.Д., Тупицына О.В., Сухоносова А.Н., Савельев А.А., Гришин Б.М.,
Чертес К.Л., 2014

требует расширения набора оценочных показателей с учетом потенциальных прочностных свойств свалочного грунта. Это особенно актуально, если рекультивированный массив будет принимать нагрузки от сооружений пониженной капитальности и рекультивационной техники.

Известно, что в процессе длительной трансформации значения некоторых характеристик свалочных грунтов (влажность, зольность, пористость, плотность, грансостав) приближаются к аналогичным значениям насыпных грунтов. За десятилетия существования отдельные фрагменты свалочного массива, особенно в его основании, подвергаются консолидации и приобретают структуру монолитов [3]. В связи с этим оценка возможности использования массивов в качестве грунтовых оснований должна осуществляться с учетом геомеханических показателей, широко применяемых для определения несущей способности природных грунтов. Подобная оценка свалочных массивов различной степени разложения до настоящего времени не использовалась.

В табл. 1 представлены отдельные значения характеристик для наиболее крупных свалочных массивов Самарской области, исследованных при участии авторов. Наряду с геометрическими, физико- и биохимическими характеристиками здесь приведены геомеханические параметры объектов исследования: коэффициент консолидации, угол внутреннего трения, удельное сцепление и модуль деформации. Данные параметры исследовали для двух базовых составляющих нарушенной территории: массива свалочного грунта и подмассивной геологической среды.

Из табл. 1 видно, что мощность нарушения геосреды большинства объектов сопоставима с мощностью массивов свалочных грунтов. Отдельные геомеханические параметры свалочных грунтов (коэффициент консолидации и модуль деформации), особенно для отходов, подвергнутых длительному захоронению, сопоставимы с аналогичными характеристиками геосреды. Это косвенно указывает на возможность достижения подобия свойств базовых составляющих по геомеханическому признаку.

Достижение подобия базовых составляющих возможно и путем управляемого воздействия на свалочный грунт. К методам управляемого воздействия относят уплотнение, вертикальную планировку, применение рекультивационных материалов, а также технологий химической и биохимической конверсии свалочной толщи в контролируемых условиях [4].

Для сокращения затрат на рекультивацию, особенно, если это связано с перемещением больших объемов грунтовых масс, необходима оценка объектов с выделением неоднородных фрагментов.

Авторами предлагаются технологические подходы к восстановлению территорий, нарушенных размещением отходов. Данные подходы должны учитывать следующие принципы:

- дифференцирование области нарушения на базовые составляющие: свалочный грунт и нарушенную геосреду, а также их фрагменты, неоднородные по структуре и составу;

- обеспечение условий подобия состава и свойств базовых составляющих;

- максимальное использование ресурсного потенциала свалочного массива и территории в зоне его влияния.

Таблица 1. Основные характеристики наиболее крупных объектов исследований

Показатель	Массив ТКО «Узюково»	Массив ТКО и ПО районный центр Кинель-Черкассы	Массив ТКО и ПО районный центр Кинель-Черкассы	Полигон ТКО районный Центр Пестравка	Свалка ТКО пос. Муханово	Полигон ТКО «Преображенка»
Общая площадь нарушения, га	32,0	6,0	4,8	2,5	0,3	50,0
<i>Основные параметры свалочного грунта</i>						
Мощность массива, млн м ³	2,0	0,28	0,5	0,06	0,008	20,0
Содержание биоразлагаемой органики, % мас.	15,0–25,0	30,0–80,0	38,0–44,0	35,0–50,0	15,0–23,0	31,0–75,0
Плотность, т / м ³	0,8–1,0	0,3–0,8	0,2–0,4	0,6–0,7	0,7–0,8	до 1,2
Коэффициент пористости e	3,0–6,0	7,0–10,0	8,0–12,0	10,0–15,0	6,0–10,0	10,0–15,0
Влажность, %	30,0–65,0	35,0–75,0	40,0–50,0	40,0–60,0	35,0–40,0	30,0–65,0
Коэффициент консолидации Cv, м²/год	3,0–4,0	5,0–8,0	10,0–15,0	6,0–9,0	2,5–3,0	7,0–17,0
Модуль деформации E, МПа	0,11–1,2	0,31–3,3	0,24–2,0	0,15–1,1	0,25–1,6	0,11–3,3
Угол внутреннего трения φ, град.	14–32	16–38	15–29	14–26	17–34	15–30
Удельное сцепление c, кПа	30–42	30–54	28–44	32–50	31–54	27–48
<i>Основные параметры нарушенной геосреды в зоне влияния</i>						
Мощность нарушения, млн м ³	8,5	4,2	1,0	0,1	0,01	8,5
Плотность частиц грунта, т / м ³	1,5–2,3	до 2,0	до 2,0	до 1,8	до 1,9	1,5–2,3
Коэффициент пористости e	2,6–4,0	до 3,5	до 2,5	до 2,7	до 3,0	2,6–4,0
Влажность, %	До 37,0	До 25,0 (верх); до 65 (основание)	До 20,0 (верх); до 50,0 (основание)	До 20,0 (верх); до 40,0 (основание)	До 20,0 (верх)	До 37,0
Модуль деформации E, МПа	0,1–0,25	0,1–0,3	0,2–0,6	0,1–0,3	0,1	0,1–0,25
Коэффициент консолидации C_v, м²/год	1,0–3,0	до 3,0	до 5,0	до 5,0	1,0	1,0–3,0
Коэффициент фильтрации (мин. значение), см / с	10 ⁻²	10 ⁻⁵	10 ⁻² –10 ⁻³	10 ⁻³ –10 ⁻⁴	10 ⁻³ –10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
Глубина обнаружения токсикантов, м	> 10,0 (фильтрат ТКО)	> 10,0 (фильтрат ТКО)	> 5,0 (фильтрат ТКО)	> 5,0 (фильтрат ТКО)	До 1,0	> 25,0

* ТКО — твердые коммунальные отходы; ПО — промышленные отходы.

Принципы управляемого восстановления территорий размещения отходов

Принцип дифференцирования области нарушения на базовые составляющие с выделением в их составе неоднородных фрагментов позволяет установить соответствие методов обезвреживания выделенным параметрам состояния свалочных грунтов и нарушенной геосреды.

Структура неоднородных фрагментов обусловлена формой, размерами и сплошностью, а также способностью их включений к консолидации. Геомеханическая неоднородность структуры определяет применение таких методов воздействия на базовые составляющие, как компактирование свалочных тел, их обезвоживание и др. Подобные методы связаны с изменением механической структуры массива и обозначены в настоящей работе как агрегационные технологии.

Химический состав позволяет оценить базовые составляющие по содержанию органики и степени ее распада, реакции среды, содержанию основных токсикантов. Отдельные характеристики химического состава свалочных тел и нарушенной геосреды необходимо учитывать при разработке методов биодеструкции, нейтрализации, обеззараживания и др. В настоящей работе данные методы направлены на изменение химического состава и обозначены как конверсионные технологии.

Широко известны методы упрочнения поверхности агрегированных и конвертированных свалочных тел, необходимых для предотвращения вторичной деградации. Они могут расцениваться как стабилизационные и включать гидроизоляцию поверхности свалки для защиты от обводнения, а также ее армирование с целью повышения прочностных свойств массивов.

Последовательное использование агрегационных, конверсионных и стабилизационных технологий обеспечивает принцип достижения условий подобия базовых составляющих путем управляемого воздействия. На рис. 1 представлена иерархия методов управляемого воздействия на мас-

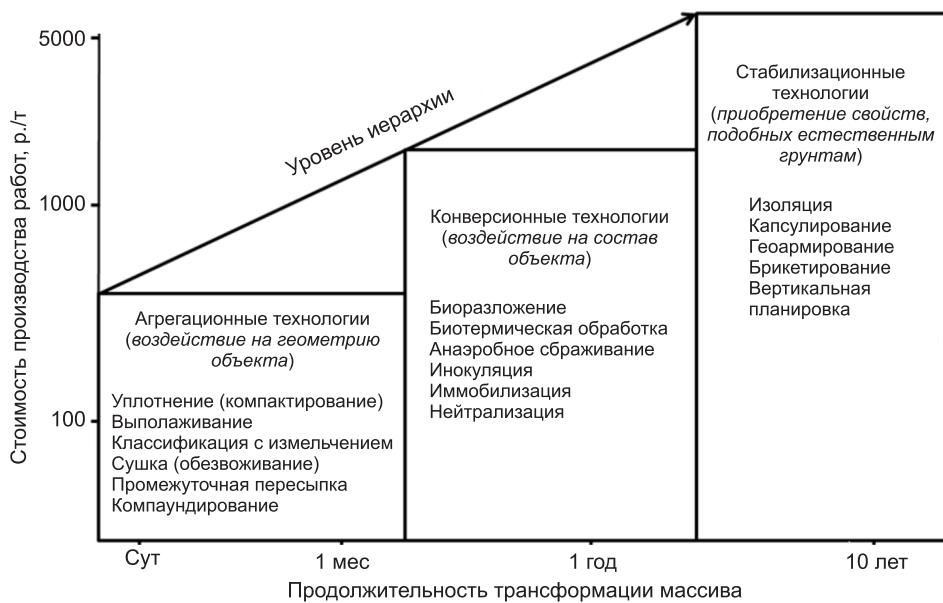


Рис. 1. Иерархия технологий управляемого воздействия на базовые составляющие свалочных массивов

сив для достижения его подобия с геосредой по геомеханическому признаку при долговременной трансформации и удельной стоимости производства работ.

Принцип максимального использования ресурсного потенциала предполагает оценку свалочных массивов в качестве потенциальных источников грунтоподобных рекультивационных материалов. В связи с этим территории, нарушенные размещением отходов, предложено дифференцировать на «объекты — акцепторы» и «объекты — доноры».

Доноры выступают источниками производства рекультивационных материалов, а также основанием создания комплексов восстановления нескольких свалок, расположенных в отдельной градопромышленной агломерации. В свою очередь, акцепторы принимают обезвреженный свалочный грунт донора в качестве материала для экранирования, выполаживания откосов, вертикальной планировки, подъема гипсометрических отметок и др.

Дифференцирование объектов на доноры и акцепторы осуществляется с использованием индекса ресурсообеспеченности свалочного массива (I_{pec}). Под индексом ресурсообеспеченности (I_{pec}) понимается удельный показатель потребности объекта определенной геометрии, структуры и состава в рекультивационных материалах:

$$I_{\text{pec}} = V_{\text{потр}} / (K_{\text{утил}} (M_{\text{то}} + M_{\text{rc}})),$$

где $V_{\text{потр}}$, м³ — общий потребный объем рекультивационных материалов для восстановления территории с заданными мощностями техногенного образования $M_{\text{то}}$, м³, и нарушенной геосреды M_{rc} , м³;

$K_{\text{утил}}$ — коэффициент, учитывающий долю фрагментов базовых составляющих, пригодных к утилизации;

$V_{\text{потр}}$ — потенциальное количество грунтоподобных материалов, необходимых для восстановления территорий, нарушенных отходами в границах данной градопромышленной агломерации.

Если $I_{\text{pec}} \geq 1$, восстанавливаемый массив является акцептором, а при $I_{\text{pec}} < 1$ — донором рекультивационных материалов. Данные по некоторым свалочным массивам приведены в табл. 2.

Анализ более 100 объектов обращения с отходами Самарской области показывает, что в ее границах расположено 17 свалочных массивов,

Таблица 2. Результаты дифференцирования объектов размещения отходов Самарской области по типу ресурсообеспеченности

ПТГ	$M_{\text{то}}$, м ³	M_{rc} , м ³	$V_{\text{потр}}$, м ³	$K_{\text{утил}}$	I_{pec}	Тип
Полигон ТКО «Узюково» (г. Тольятти)	2 000 000	8 000 000	380 000	0,02	1,90	Акцептор
Свалка г. Жигулевска	280 000	4 200 000	600 000	0,1	1,34	Акцептор
Свалка ТКО и ПО райцентра Кинель-Черкассы	17 000	630 000	1900	0,1	0,03	Донор
Полигон ТКО райцентра Пестравка	15 000	47 000	440	0,1	0,07	Донор
Свалка ТКО пос. Муханово	7 200	21 000	350	0,05	0,25	Донор
Полигон ТКО «Преображенка» (г. Самара)	6 800 000	27 000 000	1 110 000	0,02	1,64	Акцептор

потенциально пригодных, после обезвреживания, в качестве доноров рекультивационных материалов — вторичных минеральных грунтов и заменителей почв. Кроме того, восстановленные территории отдельных массивов могут выступать в качестве площадок перспективного строительства комплексов обезвреживания отходов.

Представленные в работе положения были использованы для оценки состояния и обоснования методов рекультивации свалки г. Жигулевска (Самарская область). Объект исследования эксплуатировался с 1973 по 2010 г. в границах особо охраняемой природной территории (ООПТ) — национального парка «Самарская Лука». Данное обременение затрудняет любую хозяйственную деятельность в границах ООПТ, за исключением рекреации.

Принцип дифференцирования свалки г. Жигулевска на базовые составляющие позволил выявить укрупненные объемы свалочного грунта и загрязненной геосреды для предварительной оценки масштабов нарушения и затрат на их обезвреживание.

Параметрическую оценку свалочного и природного грунтов осуществляли путем анализа геомеханических свойств и химического состава вещества. Камеральная обработка результатов методом главных компонент (МГК-методом) [1] позволила идентифицировать в структуре четыре фрагмента различной структуры и состава (рис. 2, табл. 3).

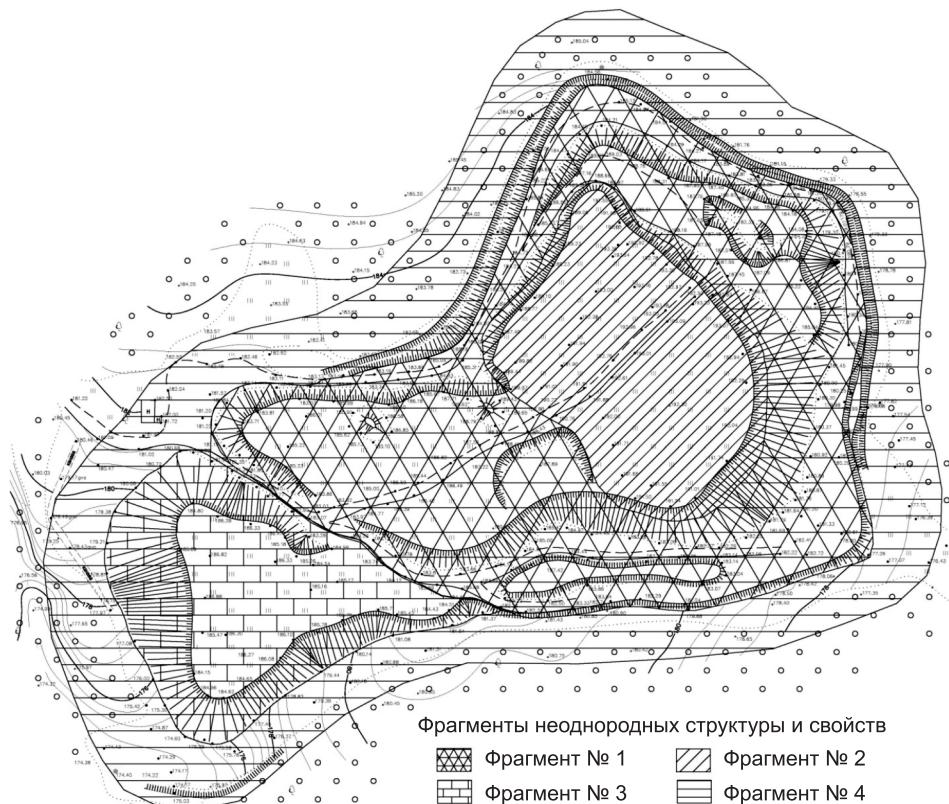


Рис. 2. План свалки Жигулевска с выделением фрагментов неоднородной структуры и свойств

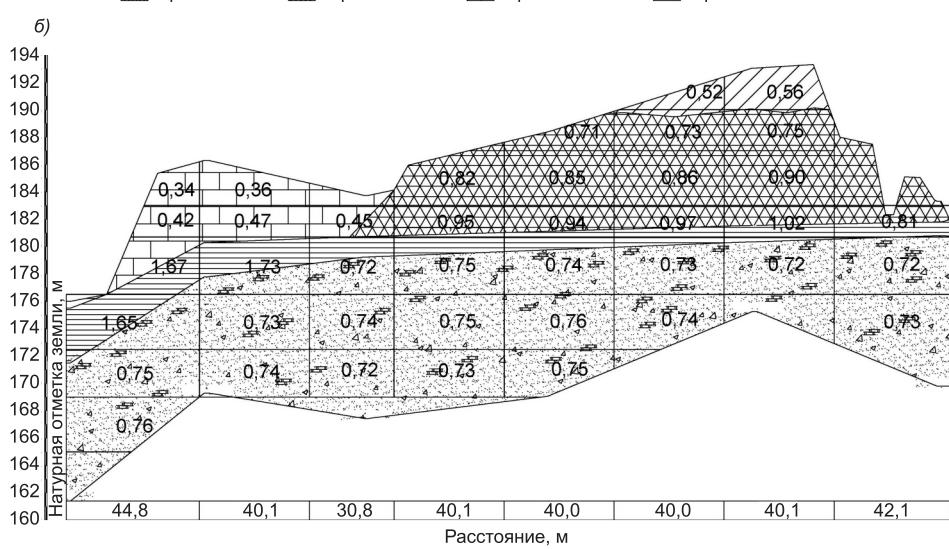
Таблица 3. Оценка состояния выделенных фрагментов свалки г. Жигулевска по степени консолидации и основные направления их восстановления

Показатель	Фрагмент № 1	Фрагмент № 2	Фрагмент № 3	Фрагмент № 4
Ориентировочный объем фрагмента, тыс. м ³ по данным изысканий	25	212	46	Более 300
Основной материал фрагмента	Консолидированный свалочный грунт	Частично консолидированный свалочный грунт с включениями промтходов	Неконсолидированный грунт (смесь ТКО и жидких нечистот из выгребов)	Загрязненный природный грунт в составе тугопластичных глин и доломитов
Некоторые основные параметры оценки:				
Влажность, %	40,2–45,2 0,71–1,02	54,3–55,7 0,52–0,56	71,2–74,5 0,34–0,47	10,7–31,2 0,72–1,73
Плотность, г / м ³				
Содержание органического вещества, %	24,4–30,1 24–32	51,3–54,1 20–22	73,8–79,2 11–14	0,5–3,4 11–40
Модуль деформации, МПа				
Состояние стабильности	Стабильный	Условно стабильный	Нестабильный	—
Технологии обезвреживания	—	Агрегационные, стабилизационные	Агрегационные, конверсионные, стабилизационные	Агрегационные
Предлагаемые методы обезвреживания	—	Уплотнение, геоармировка	Биоэструкция, вертикальная планировка, уплотнение, гидроизоляция, геоформирование поверхности	Вертикальная планировка, периметральной полосы, геоармирование

Принципы управляемого восстановления территорий размещения отходов

Фрагмент № 1 представлен старыми отходами, размещенными в 1970–1980-х гг. и минерализованными при длительном биохимическом разложении, а также выгоранием органики в результате пожаров. По однородности, влажности, зольности, плотности и другим параметрам материал фрагмента № 1 имеет подобие с природными глинами и оценен как стабильный или консолидированный. Следовательно, обеспечения подобия структуры и состава путем управляемого воздействия для данного фрагмента не требуется.

Фрагмент № 2 сформирован в 1990-е гг. и содержит большое количество полимерных составляющих. Уплотнение и пересыпка отходов в этот период не осуществлялись. Материал фрагмента — рыхлый, частично минерализованный и оценивается как условно стабильный. В толще были обнаружены многочисленные провалы и пустоты. Очевидна необходимость использования агрегационной технологии — уплотнения свалочно-



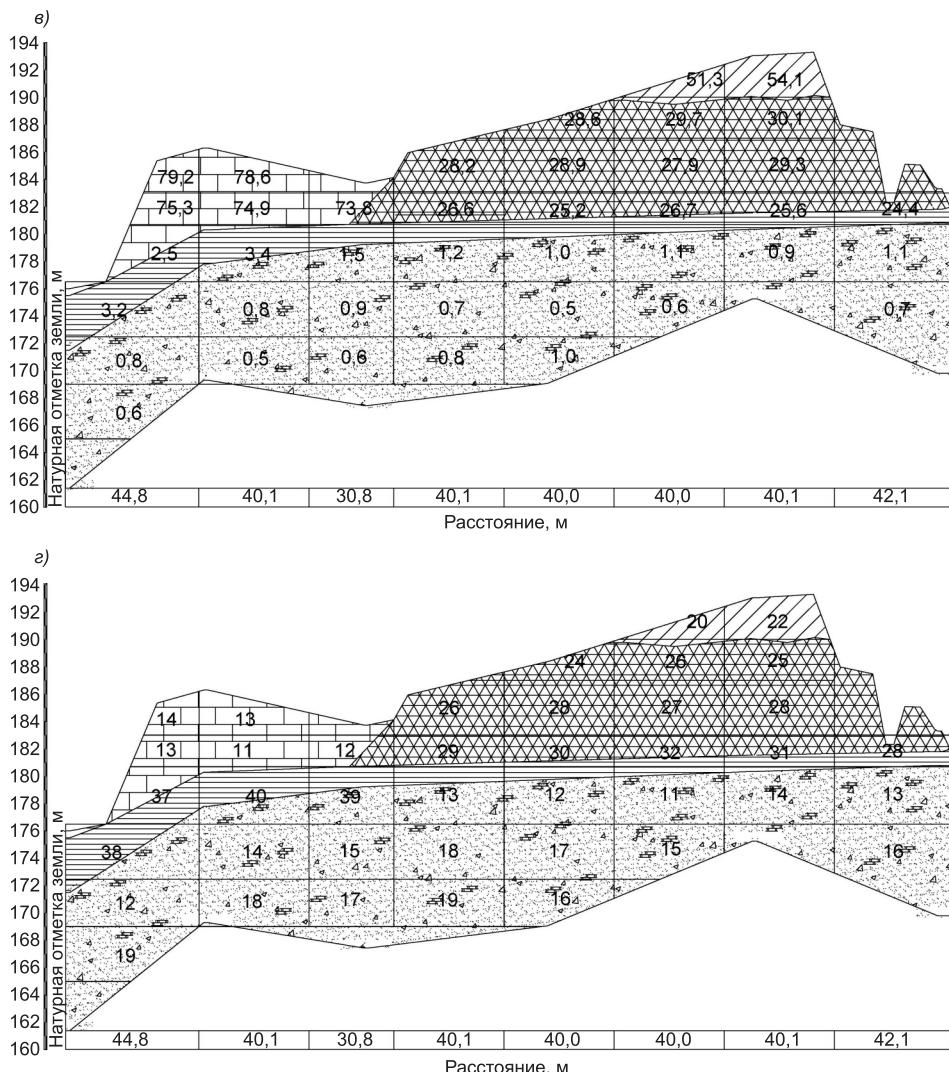


Рис. 3. Матрицы влажности (а), плотности (б), содержания органического вещества (в), модуля деформации (г) свалочного и природного грунтов в дифференцированном на фрагменты массиве

го грунта фрагмента № 2 для приближения его структуры к подмассивной геосреде по плотности и пористости. Совместно с уплотнением предполагается вертикальная планировка поверхности фрагмента № 2 с укреплением откосов геоматериалами.

Фрагмент № 3 формировался в период с 2006 по 2010 г. и представляет собой нестабильный материал влажностью 70–80 % и зольностью 10–20 %. «Очаги» метаногенеза в толще массива свидетельствуют об анаэробном биоразложении органики. Кроме того, в границах фрагмента № 3 обнаружены линзы отжимной влаги, выявлены пути ее поступления на прилегающую территорию. Для стабилизации свалочного тела предусматривается биодеструкция материала фрагмента № 3 в аэробных условиях с формированием штабелей на поверхности фрагмента № 2. После минерализации материал фрагмента компактируется и покрывается многофункциональной защитной геомембраной.

Загрязнение геосреды фрагмента № 4 распространяется до глубин более 20 м. Фронт загрязнения в плане выходит за границы свалки с выклиниванием на пониженные отметки рельефа. Нарушенная геосреда фрагмента № 4 подвергается вертикальной планировке и армированию в границах периметральной полосы свалочного грунта. При этом воздействие на загрязненный природный грунт фрагмента № 4 производится до глубин не более 1,5–2,0 м. Данный диапазон глубин определен на стадии изысканий, как наиболее нарушенный воздействием массива отходов.

Дифференцирование базовых составляющих свалки г. Жигулевска с определением степени стабильности свалочного грунта было выполнено с использованием структурно-фазового подхода — интерпретации свалочного тела в виде цифровых матриц. При этом был получен большой массив данных. Обработка массива МГК-методом [1] позволила выделить неоднородные фрагменты, оценить их стабильность и назначить соответствующие методы обезвреживания (см. табл. 3). Цифровые матрицы основных параметров оценки представлены на рис. 3.

Выводы. Разработанные базовые принципы дифференцирования территорий, нарушенных размещением отходов, позволяют определить характер управляемого воздействия на данные территории, минимизировать объемы рекультивационных материалов природного происхождения, а также разработать экономически эффективные методы восстановления с минимальным воздействием на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быков, Д.Е. Рекультивация массивов органоминеральных отходов [Текст] / Д.Е. Быков, К.Л. Чертес, О.В. Тупицына. — Самара : СГТУ, 2007. — 118 с.
2. Тупицына, О.В. Совершенствование технологии рекультивации техногенных массивов органоминеральных отходов с использованием продуктов компостирования: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / О.В. Тупицына. — Самара : СГТУ, 2006. — 125 с.
3. Тупицына, О.В. Комплексная геоэкологическая система исследования и восстановления техногенно нарушенных территорий [Текст] / О.В. Тупицына // Экология и промышленность России. — 2011. — № 3. — С. 35–38.
4. Чертес, К.Л. Утилизация осадков сточных вод на объектах размещения отходов [Текст] / К.Л. Чертес, Е.В. Михайлов, О.В. Тупицына, А.С. Малиновский // Экология и промышленность России. — 2008. — № 5. — С. 36–40.

*ПОТАПОВ Александр Дмитриевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail:adp1946@mail.ru
Московский государственный строительный университет
ТУПИЦЫНА Ольга Владимировна, канд. техн. наук, ассист.; E-mail: olgatupicyna@yandex.ru*

*Самарский государственный технический университет
СУХОНОСОВА Анна Николаевна, асп.*

*Самарский государственный технический университет
САВЕЛЬЕВ Алексей Александрович, асп.*

Самарский государственный технический университет

*ГРИШИН Борис Михайлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: bgrishin@rambler.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ЧЕРТЕС Константин Львович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: chertes2007@yandex.ru,
Самарский государственный технический университет*

Potapov Alexandre Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: adp1946@mail.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Tupitsyna Olga Vladimirovna, candidate of technical sciences, assistant; E-mail: olgatupicyna@yandex.ru, Samara State Technical University, Russia

Sukhonosova Anna Nikolaevna, post-graduate student, Samara State Technical University, Russia

Savelyev Alexey Alexandrovich, post-graduate student, Samara State Technical University, Russia

Grishin Boris Mikhaylovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: bgrishin@rambler.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Chertes Konstantin Lvovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: chertes2007@yandex.ru, Samara State Technical University, Russia

THE PRINCIPLES OF OPERATED RESTITUTION OF WASTE DISPOSAL TERRITORIES

The main technological approaches to restitution of the territories broken by placement of a waste are offered. The developed approaches include the principles of derivation of area of breakdown on basic components, providing area of similarity of structure and properties of basic components, and also maximal use of resource capacity of the rubbish mass and the territory in a zone of its influence. The presented provisions were used for an assessment of a state and justification of methods of recultivation of a dump Zhigulevsk the Samara region.

Key words: waste, rubbish massif, broken territories, recultivation.

REFERENCES

1. Bykov, D.E. Recultivation of organo-mineral waste massifs [Text] / D.E. Bykov, K.L. Chertes, O.V. Tupitsyna. — Samara : SSTU, 2007. — 118 p.
 2. Tupitsyna, O.V. Perfecting of organo-mineral waste technogenic massifs recultivation technology with use of a composting products: dis. ... cand. tech. sci. [Text] / O.V. Tupitsyna. — Samara : SSTU, 2006. — 125 p.
 3. Tupitsyna, O.V. Complex geoecological system of the tekhnogen broken territories research and restitution [Text] / O.V. Tupitsyna // Ecology and the industry of Russia. — 2011. — N 3. — P. 35–38.
 4. Chertes, K.L. Sewage utilization on objects of waste placement [Text] / K.L. Chertes, E.V. Mikhaylov, O.V. Tupitsyna, A.S. Malinovsky // Ecology and the industry of Russia. — 2008. — N 5. — P. 36–40.
-

УДК 539.3:624.04

Е.Н. КУРБАЦКИЙ, НГУЕН ЧОНГ ТАМ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ И КРИТИЧЕСКИХ СИЛ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОСТОЯННОЙ СИЛЫ ПО БАЛКАМ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

При движении поездов со скоростями, близкими к критическим, прогибы рельсов и вибрации могут существенно возрасти и даже привести к сходу подвижного состава с рельсов. Критические скорости могут быть превышены современными высокоскоростными поездами, особенно в тех случаях, когда путь уложен на мягких грунтах и эти критические скорости невысокие.

Получены формулы для определения критических скоростей и критических продольных сил при движении постоянной подвижной нагрузки по балкам, описываемым моделью Рэлея и Тимошенко. Решения получены с использованием преобразования Фурье и теории вычетов. Полученные результаты представлены в аналитическом виде и удобны при решении конкретных задач.

Ключевые слова: критическая скорость, балка Тимошенко, преобразование Фурье, вычеты.

1. Введение. Колебания, создаваемые пассажирскими и грузовыми поездами, вызывают неприятные ощущения у жителей, проживающих в зданиях, расположенных вблизи железнодорожных трасс. При увеличении скорости движения интенсивность вибраций, генерируемых железнодорожными поездами, обычно возрастает. При движении современных высокоскоростных поездов уровни вибраций существенно возрастают, когда достигаются критические скорости, которые определяются скоростями волн, распространяющимися в грунте и в конструкции пути.

В работе С.П. Тимошенко [1] определяется величина критической скорости и отмечается, что она велика и на практике вряд ли достижима. Выполненные в последние годы теоретические исследования [2], а также натурные испытания показали, что при превышении поездами скоростей распространения волн Рэлея в грунте, на котором укладывается путь, вибрации, создаваемые поездами, существенно возрастают.

Этот феномен имеет такое же объяснение, как эффект пролета самолета со сверхзвуковой скоростью, а также эффект «Вавилова — Черенкова» в физике.

При движении поездов со скоростями, близкими к критическим, прогибы рельсов и вибрации могут существенно возрасти и даже привести к сходу подвижного состава с рельсов.

Наиболее важными являются два типа таких критических скоростей: скорости поверхностных волн Рэлея и минимальные фазовые скорости изгибных волн, распространяющихся в конструкции пути, уложенного на балластном слое. Скорость распространения изгибных волн называют критической скоростью верхнего строения пути.

Обе эти критические скорости могут быть превышены современными высокоскоростными поездами, особенно в тех случаях, когда путь уложен на мягких грунтах и эти критические скорости невысокие.

Для оценки взаимодействия высокоскоростных поездов с конструкцией пути наиболее часто используются модели балок Эйлера–Бернулли на упругом основании.

В настоящей работе с использованием преобразования Фурье и теории вычетов [3] получены формулы для определения критических скоростей и критических продольных сил при движении постоянной подвижной нагрузки по балкам, описываемым моделями Рэлея и Тимошенко. Результаты представлены в аналитическом виде и удобны при решении конкретных задач.

2. Дифференциальное уравнение прогиба балки и расчетная схема. В качестве исходной модели рассмотрим дифференциальное уравнение балки Тимошенко на упругом основании при воздействии постоянной силы, движущейся с постоянной скоростью (рис. 1):

$$EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - mr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G}\right) \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} - S \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{m^2 r^2}{\gamma G A} \frac{\partial^4 u}{\partial t^4} + ku = P\delta(x - Vt), \quad (1)$$

где m , E , G — погонная масса и модули упругости при растяжении и сдвиге материала балки;

I , A , r — момент инерции, площадь, радиус инерции поперечного сечения балки;

$\gamma = A/A_{ct}$ — коэффициент, учитывающий влияние формы сечения на деформацию сдвига элемента балки;

A_{ct} — площадь стенки;

S — продольная сила;

k — коэффициент постели основания.

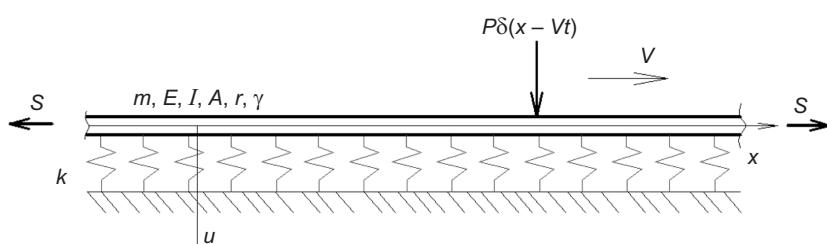


Рис. 1. Расчетная модель балки на упругом основании

Модели балок Эйлера–Бернулли и Рэлея будем рассматривать как частные случаи, полагая соответствующие параметры равными нулю.

Преобразование Фурье функции прогиба балки определяется выражением

$$U(v, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(x, t) \exp(ivx) \exp(i\omega t) dx dt. \quad (2)$$

Применив преобразование Фурье к обеим частям уравнения (1) по двум переменным, получим

$$\left[EIv^4 - mr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) v^2 \omega^2 + Sv^2 - m\omega^2 + \frac{m^2 r^2}{\gamma G A} \omega^4 + k \right] U(v, \omega) = \\ = 2\pi P \delta(vV + \omega), \quad (3)$$

где v, ω — параметры преобразования Фурье по переменным x и t .

Из уравнения (3) следует

$$U(v, \omega) = \frac{2\pi P \delta(vV + \omega)}{EIv^4 - mr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) v^2 \omega^2 + Sv^2 - m\omega^2 + \frac{m^2 r^2}{\gamma G A} \omega^4 + k}. \quad (4)$$

Выражение для обратного преобразования Фурье имеет вид

$$u(x, t) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2\pi P \delta(vV + \omega) \exp[-i(vx + \omega t)]}{EIv^4 - mr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) v^2 \omega^2 + Sv^2 - m\omega^2 + \frac{m^2 r^2}{\gamma G A} \omega^4 + k} dv d\omega. \quad (5)$$

При интегрировании по переменной ω , воспользовавшись свойством дельта-функции, получим

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{P \exp[-i(x - Vt)v]}{\left[EI + \frac{m^2 r^2 V^4}{\gamma G A} - mr^2 V^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) \right] v^4 + (S - mV^2)v^2 + k} dv. \quad (6)$$

3. Функция прогиба балки Тимошенко на упругом основании в зависимости от расположения корней биквадратного уравнения на комплексной плоскости. Вычисление интеграла (6) выполним в комплексной плоскости с использованием контурного интегрирования и теории вычетов. Для этой цели найдем корни биквадратного уравнения с левой частью в виде знаменателя подынтегрального выражения:

$$\left[EI + \frac{m^2 r^2 V^4}{\gamma G A} - mr^2 V^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) \right] v^4 + (S - mV^2)v^2 + k = 0. \quad (7)$$

Определитель уравнения (7):

$$\Delta = (S - mV^2)^2 - 4k \left[EI + \frac{m^2 r^2 V^4}{\gamma G A} - mr^2 V^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) \right]. \quad (8)$$

Рассмотрим возможные случаи расположения корней на комплексной плоскости и соответствующие им решения.

a. *Определитель больше нуля ($\Delta > 0$). Уравнение (7) имеет четыре различных корня.* При условии $S - mV^2 \leq 0$ уравнение (7) имеет четыре действительных корня, между которыми существуют следующие соотношения: $v_1 = -v_2 = z_1$ и $v_3 = -v_4 = z_2$.

Расположение корней на комплексной плоскости показано на рис. 2, а.

Подынтегральная функция имеет изолированные особые точки, расположенные на действительной оси. Интегрируя по верхнему замкнуто-

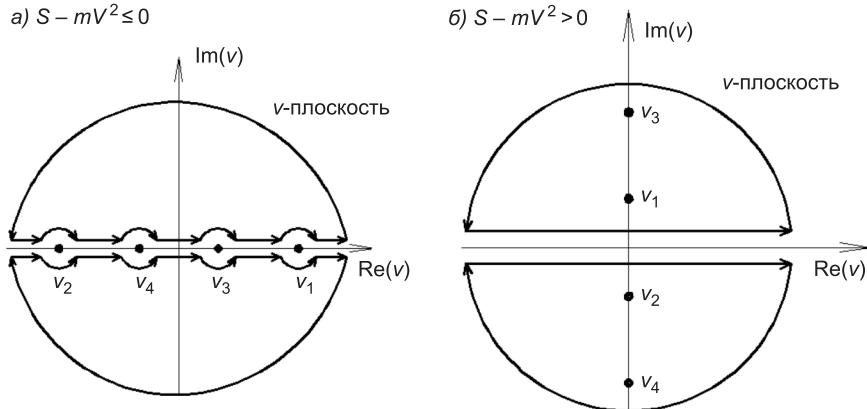


Рис. 2. Схема расположения корней знаменателя на комплексной плоскости при $\Delta > 0$

му контуру при $x - Vt < 0$, «обходя» особые точки по дугам полуокружности, получим

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \frac{Pi}{2EI} \operatorname{res} \left\{ \frac{\exp[-i(x-Vt)v]}{v^4 + (\bar{S} - \bar{m}V^2)v^2 + \bar{k}} \right\} = \\ &= \frac{Pi}{2} \sum_{j=1}^4 \frac{\exp[-i(x-Vt)v_j]}{4v_j^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)v_j}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{где } \overline{EI} = EI + \frac{m^2 r^2 V^4}{\gamma G A} - mr^2 V^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right), \quad \bar{S} = \frac{S}{EI}, \quad \bar{m} = \frac{m}{EI}, \quad \bar{k} = \frac{k}{EI}.$$

В этом случае интеграл понимается в смысле главного значения.

Подставляя корни знаменателя в выражение (9) и выполнив алгебраические преобразования, находим

$$u(x, t) = \frac{P}{\overline{EI}} \left[\frac{\sin[z_1(x-Vt)]}{4z_1^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)z_1} + \frac{\sin[z_2(x-Vt)]}{4z_2^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)z_2} \right]. \quad (10)$$

Таким же образом получим выражение прогиба балки при условии $x - Vt \geq 0$. В этом случае интегрирование выполняется по контуру, расположенному в нижней комплексной полуплоскости. Отметим, что выражение прогиба балки и в этом случае совпадает с выражением (10).

При условии $S - mV^2 > 0$ уравнение (7) имеет четыре мнимых корня $v_1 = -v_2 = iz_1$, $v_3 = -v_4 = iz_2$ ($z_1, z_2 > 0$). Расположение корней на комплексной плоскости показано на рис. 2, б.

Для определения функции прогиба балки при условии $x - Vt \geq 0$ выполняется интегрирование по замкнутому контуру, расположенному в нижней комплексной полуплоскости. Используя теорему о вычетах, получим

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \frac{Pi}{\overline{EI}} \operatorname{res} \left\{ \frac{\exp[-i(x-Vt)v]}{v^4 + (\bar{S} - \bar{m}V^2)v^2 + \bar{k}} \right\} = \\ &= \frac{P}{\overline{EI}} \left\{ \frac{\exp[-(x-Vt)z_1]}{-4z_1^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)z_1} + \frac{\exp[-(x-Vt)z_2]}{-4z_2^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)z_2} \right\}. \end{aligned} \quad (11)$$

При условии $x - Vt < 0$ интегрирование выполняется по замкнутому контуру, расположенному в верхней комплексной полуплоскости. Имеем

$$u(x, t) = \frac{P}{EI} \left\{ \frac{\exp[(x - Vt)z_1]}{-4z_1^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)z_1} + \frac{\exp[(x - Vt)z_2]}{-4z_2^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)z_2} \right\}. \quad (12)$$

b. Определитель меньше нуля ($\Delta < 0$). Уравнение (6) имеет четыре различных комплексных корня. Для действительных и мнимых частей корней введем следующие обозначения:

$$\operatorname{Re} v = z_1, \operatorname{Im} v = z_2,$$

тогда четыре корня можно представить в виде:

$$v_{1,2} = z_1 \pm iz_2 \text{ и } v_{3,4} = -z_1 \pm iz_2.$$

Расположение корней на комплексной плоскости представлено на рис. 3.

Выполняя интегрирование по нижнему замкнутому контуру и используя теорему вычетов, получим выражение прогиба балки при условии $x - Vt \geq 0$:

$$u(x, t) = -\frac{Pi}{EI} \sum_{\operatorname{Im} v < 0} \frac{\exp[-i(x - Vt)v]}{4v^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)v}. \quad (13)$$

Аналогично в результате интегрирования по верхнему замкнутому контуру имеем при условии $x - Vt < 0$:

$$u(x, t) = \frac{Pi}{EI} \sum_{\operatorname{Im} v > 0} \frac{\exp[-i(x - Vt)v]}{4v^3 + 2(\bar{S} - \bar{m}V^2)v}. \quad (14)$$

c. Определитель равен нулю ($\Delta = 0$). Уравнение (6) имеет кратные корни. Расположение корней знаменателя на комплексной плоскости представлено на рис. 4, а.

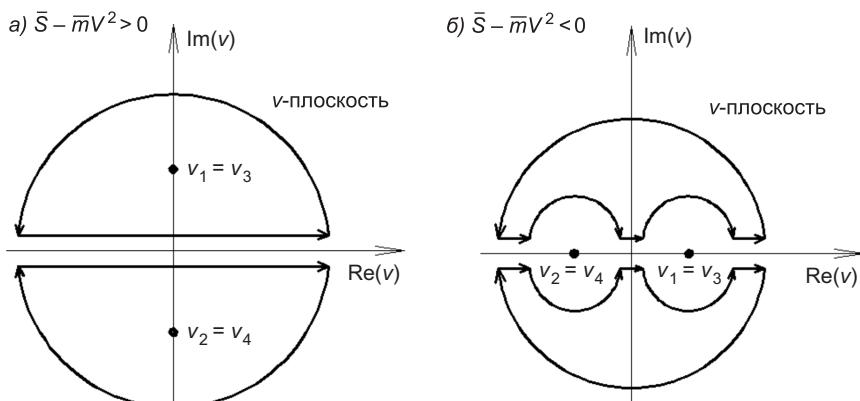


Рис. 3. Схема расположения корней знаменателя на комплексной плоскости при $\Delta < 0$

При условии $\bar{S} - \bar{m} V^2 > 0$ уравнение (6) имеет мнимые кратные корни. Корни $v_1 = v_3$ расположены в верхней полуплоскости $\left(v_1 = i \frac{\bar{S} - \bar{m} V^2}{2}\right)$, корни $v_2 = v_4$ — в нижней $\left(v_2 = -i \frac{\bar{S} - \bar{m} V^2}{2}\right)$.

Выполняя интегрирование соответственно по верхнему и нижнему замкнутым контурам и используя теорему вычетов с учетом кратности корней, получим выражения прогиба балки

— при условии $x - Vt < 0$:

$$u(x, t) = \frac{P}{4EI} \frac{\exp[(x - Vt)|v_1|] \cdot [|v_1|(x - Vt) + 1]}{|v_1^3|}; \quad (15)$$

— при условии $x - Vt \geq 0$:

$$u(x, t) = \frac{P}{4EI} \frac{\exp[-(x - Vt)|v_2|] \cdot [-|v_2|(x - Vt) + 1]}{|v_2^3|}. \quad (16)$$

При условии $\bar{S} - \bar{m} V^2 < 0$ уравнение (7) имеет действительные кратные корни. Два корня $v_1 = v_3 = -\frac{\bar{S} - \bar{m} V^2}{2}$ расположены в правой полуплоскости, корни $v_2 = v_4 = \frac{\bar{S} - \bar{m} V^2}{2}$ — в левой полуплоскости. Расположение корней на комплексной плоскости представлено на рис. 4, б.

Используя теорему вычетов при вычислении интеграла (6), получим выражение для прогиба балки

$$u(x, t) = \frac{P}{4EI} \frac{\cos[(x - Vt)v_1] \cdot (x - Vt)}{v_1^2}. \quad (17)$$

Формулы (9)–(17) определяют выражение для прогибов балки Тимошенко в зависимости от скорости движения постоянной силы и продольной силы сжатия.

4. Определение критических скоростей и критических продольных сил. Рассмотрим те случаи расположения корней биквадратного уравнения (7), когда решения стремятся к бесконечности при $x - Vt \rightarrow \infty$. Этим условиям соответствуют $\Delta = 0$ и $\bar{S} - \bar{m} V^2 < 0$. В остальных случаях при $x - Vt \rightarrow \infty$ такое явление не наблюдается. Таким образом, уравнение $\Delta = 0$ и неравенство $\bar{S} - \bar{m} V^2 < 0$ являются необходимыми и достаточными условиями для определения критических значений скоростей бесконечной балки на упругом основании при действии подвижной нагрузки.

Для определения критических скоростей и критических продольных сил преобразуем (7) к более удобному виду

$$\Delta = m^2 \left(1 - \frac{4kr^2}{\gamma GA}\right) V^4 + 2m \left[2kr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G}\right) - S\right] V^2 - 4kEI + S^2 = 0. \quad (18)$$

Решив уравнение (17), получим выражение для критической скорости подвижной нагрузки в зависимости от характеристик балки и продольной силы

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{\left[S - 2kr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) \right] + 2\sqrt{k^2 r^4 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right)^2 - kr^2 S \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) + kEI - \frac{4kr^2}{\gamma GA} (4kEI - S^2)}}{m \left(1 - \frac{4kr^2}{\gamma GA} \right)}} \quad (19)$$

Для определения критической продольной силы представляем (7) в виде квадратного уравнения относительно продольной силы

$$\Delta = S^2 - 2mV^2S + m^2 \left(1 - \frac{4kr^2}{\gamma GA} \right) V^4 + 4kmr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) V^2 - 4kEI = 0, \quad (20)$$

решение которого с использованием условия $S - mV^2 < 0$ дает критическую продольную силу в зависимости от характеристик балки и скорости подвижной нагрузки:

$$S_{cr} = mV^2 - 2\sqrt{kEI - kmr^2 \left(1 + \frac{E}{\gamma G} \right) V^2 + \frac{km^2 r^2 V^4}{\gamma GA}}. \quad (21)$$

Рассмотрим различные модели балок. Для модели балки Рэлея (не учитывается влияние деформации сдвига) критические скорости и критические продольные силы определяются выражениями:

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{S - 2kr^2 + 2\sqrt{k^2 r^4 - kr^2 S + kEI}}{m}}; \quad (22)$$

$$S_{cr} = mV^2 - 2\sqrt{kEI - kmr^2 V^2}. \quad (23)$$

Для модели балки Эйлера–Бернулли, в которой не учитываются силы инерции вращения и деформации сдвигов поперечных сечений балки, критические скорости и критические продольные силы определяются следующими выражениями:

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{S + 2\sqrt{kEI}}{m}}; \quad (24)$$

$$S_{cr} = mV^2 - 2\sqrt{kEI}. \quad (25)$$

Формулы (24) и (25) для балки Эйлера–Бернулли совпадают с полученными С.П. Тимошенко [1].

5. Пример. Исходные данные: рельс Р65; погонная масса $m = 320$ кг/м с учетом масс шпал, площадь поперечного сечения $A = 83 \cdot 10^{-4}$ м², момент инерции $I = 354 \cdot 10^{-8}$ м⁴, радиус инерции $r = 0,1$ м, коэффициент сдвига $\gamma = 3,6$, модули упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $G = 7,7 \cdot 10^{10}$ Па; коэффициент постели $k = 7,5$ МПа (грунт средней плотности). Подставляя данные в (19), (22) и (24), получим значения критических скоростей при $S = 0$, соответствующие разным типам балки: для балки Тимошенко — 116,7 м/с, для балки Рэлея — 118 м/с, для балки Эйлера–Бернулли — 120 м/с. Заметим, что значение критической скорости для балки Тимошенко является минимальным. Отличие критических скоростей разных типов балок незначительное.

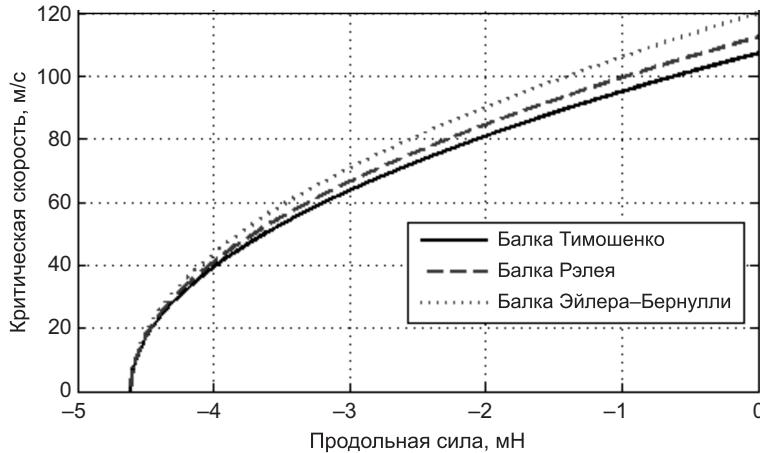


Рис. 5. Критическая скорость в зависимости от продольной силы при $r = 0,2$ м для разных моделей балок

Оценим зависимости критических скоростей от значений продольных сил.

На рис. 5 показана зависимость критической скорости от продольной силы при $r = 0,2$ м.

На рис. 6 показана зависимость критической скорости от радиуса инерции балки Тимошенко при разных значениях продольной силы. Заметим, что критическая скорость уменьшается с увеличением значения радиуса инерции балки.

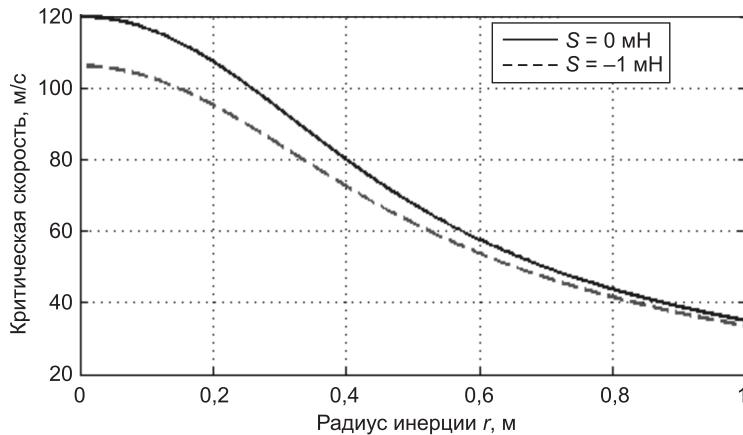


Рис. 6. Критическая скорость в зависимости от радиуса инерции балки Тимошенко при разных значениях продольных сил

6. Выводы. 1. Получены выражения для определения критических скоростей.

2. Значения критических скоростей, полученные с использованием модели балки Тимошенко, меньше значений, полученных с использованием моделей балок Рэлея и Эйлера–Бернулли.

3. В тех случаях, когда радиусы поперечных сечений и продольные силы малы, значения критических скоростей для разных моделей балок отличаются незначительно, поэтому для определения критической скорости может использоваться модель балки Эйлера–Бернулли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимошенко, С.П. Прочность и колебания элементов конструкций [Текст] / С.П. Тимошенко. — М. : Наука, 1975. — 704 с.
2. Крылов, В.В. Generation of ground vibration boom by high-speed trains [Текст] / В.В. Крылов // Noise and Vibration from High-speed Trains, Thomas Telford, London. — 2001. — Р. 251–283.
3. Араманович, И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости [Текст] / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л.Э. Эльсгольц. — М. : Наука, 1968. — 416 с.

КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

НГҮЕН ЧОНГ ТАМ, асп.; E-mail: ngyuentam@mail.ru

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

Получено 07.04.14

Kurbatsky Evgeniy Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Russia

Nguyen Chong Tam, post-graduate student; E-mail: ngyuentam@mail.ru, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Russia

DETERMINATION OF CRITICAL SPEEDS AND CRITICAL FORCES IN CONSTANT FORCE MOVEMENT ALONG BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION

As a result of the trains' movement with critical speeds rail deflections and vibrations may increase considerably and even lead to derailment.

These critical speeds may be exceeded by modern high-speed trains, especially in cases when the track is laid on soft ground and critical speeds are low.

The formulas of the critical velocities and critical longitudinal forces when moving load on the beams, describes by models of Rayleigh's and Timoshenko's beams, are determined. For solutions the Fourier transform and the theory of residues are used. The results are presented in an analytical form comfortable for practical problems.

Key words: critical speed, Timoshenko beam, Fourier transform, theory of residue.

REFERENCES

1. Timoshenko, S.P. Strength and vibrations of structural elements [Text] / S.P. Timoshenko. — M. : Nauka, 1975. — 704 p.
2. Krylov, V.V. Generation of ground vibration boom by high-speed trains [Text] / V.V. Krylov // Noise and Vibration from High-speed Trains, Thomas Telford, London. — 2001. — Р. 251–283.
3. Aramanovich, I.G. Functions of a complex variable. Operational calculus. Stability theory [Text] / I.G. Aramanovich, G.L. Luntz, L.E. Elsgolts. — M. : Nauka, 1968. — 416 p.

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 620.179.16:539.3

Л.Н. СТЕПАНОВА, А.Н. КУРБАТОВ, Е.С. ТЕНИТИЛОВ, Б.В. ГЛУХОВ

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЗАДЕРЖКУ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В РЕЛЬСЕ

С использованием метода акустоупругости проведены исследования зависимости времени распространения ультразвуковых (УЗ) волн от механических напряжений в нагруженном рельсе. Рассмотрено влияние температуры на задержку времени распространения продольных, поперечных и смешанных волн для рельсов с различным напряжением. Результаты измерений напряжений с использованием УЗ-волн подтверждались тензометрическим методом.

Ключевые слова: напряжения, рельс, акустоупругость, температура, задержка времени, ультразвуковая волна.

Транспортно-технологические машины (башенные и железнодорожные краны, подвижной состав и т.д.) эксплуатируются в неблагоприятных условиях как влияния внешней среды, так и действия статических и динамических (ударных, вибрационных) нагрузок. Одним из элементов, влияющих на надежность эксплуатации транспортно-технологических машин, является рельс, по которому осуществляется их передвижение.

Для обеспечения безопасности движения транспортно-технологических машин необходимо следить за напряжениями в рельсах, поскольку увеличение скорости движения и нагрузок на оси подвижного состава приводит к повышению их уровня. Температурные изменения могут приводить к появлению больших сжимающих и растягивающих напряжений в рельсах, к потере их устойчивости или излому и выбросу пути. Известно, что напряжения сжатия появляются в рельсах в жаркую погоду, а напряжения растяжения — в холодное время года [1, 2]. Поэтому для обеспечения безопасности движения подвижного состава необходимо осуществлять мониторинг напряжений, возникающих в рельсах.

Сила P_T , вызванная изменением температуры на ΔT градусов в не-подвижной части рельса, определяется как [1]:

$$P_T = \sigma \cdot F = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где σ — напряжение при изменении температуры, МПа;

$\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ — коэффициент температурного расширения стали;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа — модуль упругости стали;

$F \approx 80 \text{ см}^2$ — площадь поперечного сечения рельса Р65.

© Степанова Л.Н., Курбатов А.Н., Тенитилов Е.С., Глухов Б.В., 2014

Расчеты, выполненные по формуле (1), показывают, что изменение температуры рельса на 10 °С приводит к появлению сжимающей или растягивающей силы порядка 200 кН.

Метод акустоупругости позволяет по изменению скорости распространения ультразвуковых (УЗ) волн определять действующие в металлических конструкциях механические напряжения [2–4]. При этом используется косвенный метод измерения механических напряжений через измерение временной задержки распространения УЗ-волн.

Цель работы — исследование влияния температуры на задержку времени распространения УЗ-волн в нагруженном рельсе.

Во время проведения экспериментальных работ использовались серийные приборы: дефектоскоп УД2-102 «Пеленг», осциллограф Tektronix TDS 2014, измеритель температуры рельса ИТ 5-п/п-ЖД, компьютер (ноутбук) для записи измерительной информации, блок, состоящий из двух пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) с углом ввода $\phi = 18^\circ$ и резонансной частотой 2,5 МГц. При этом преобразователи подключались по раздельной схеме. Первый преобразователь являлся излучателем УЗ-волн, а второй — приемником.

Блок ПЭП устанавливался на поверхность катания головки рельса в области над шейкой, а акустические оси излучателя и приемника ориентировались навстречу друг другу (рис. 1, а). Дефектоскопом УД2-102 «Пеленг» возбуждался зондирующий импульс и проводился контроль с применением А-развертки. Задержку времени распространения УЗ-импульсов с дискретностью в 1 нс измеряли цифровым осциллографом TDS-2014. Излучателем ПЭП1 возбуждался зондирующий сигнал 1 и определялось время прохождения продольной волны 2 (рис. 1, б), первый донный сигнал, который связан с распространением продольной УЗ-волны до подошвы рельса и обратно к приемнику ПЭП2 (рис. 1, а) [3, 4]. Второй донный сигнал 3 (рис. 1, б) распространялся от источника до дна за счет эффекта трансформации возникла волна другого типа — поперечная (продольная), которая распространялась до приемника (рис. 1, б), назовем ее смешанной. Третий донный сигнал 4 связан с распространением поперечной УЗ-волны от поверхности катания головки рельса до подошвы и обратно к поверхности катания головки рельса. Измерительная информация обрабатывалась и сохранялась в компьютере. Как видно из рис. 1, б, максимальной амплитудой обладала продольная волна 2, а минимальной — поперечная волна 4.

Исследование влияния температуры на задержку времени распространения УЗ-волн в нагруженном рельсе осуществлялось на специально разработанном стенде с гидравлическим приводом, позволяющим получать растягивающие напряжения, которые не превышали 10 % от предела текучести рельсовой стали.

На рис. 2 показана структурная схема стенда, состоящего из гидроцилиндров 1, рельсовых эксцентриковых захватов 2, стяжек 3, специальных тяг 4, соединенных со штоками 5 гидроцилиндров. Кроме того, в стенде имеются шарниры 6, клеммовые муфты 7, стабилизаторы устойчивости 8, выполненные в виде двух стоек, закрепленных с обеих сторон

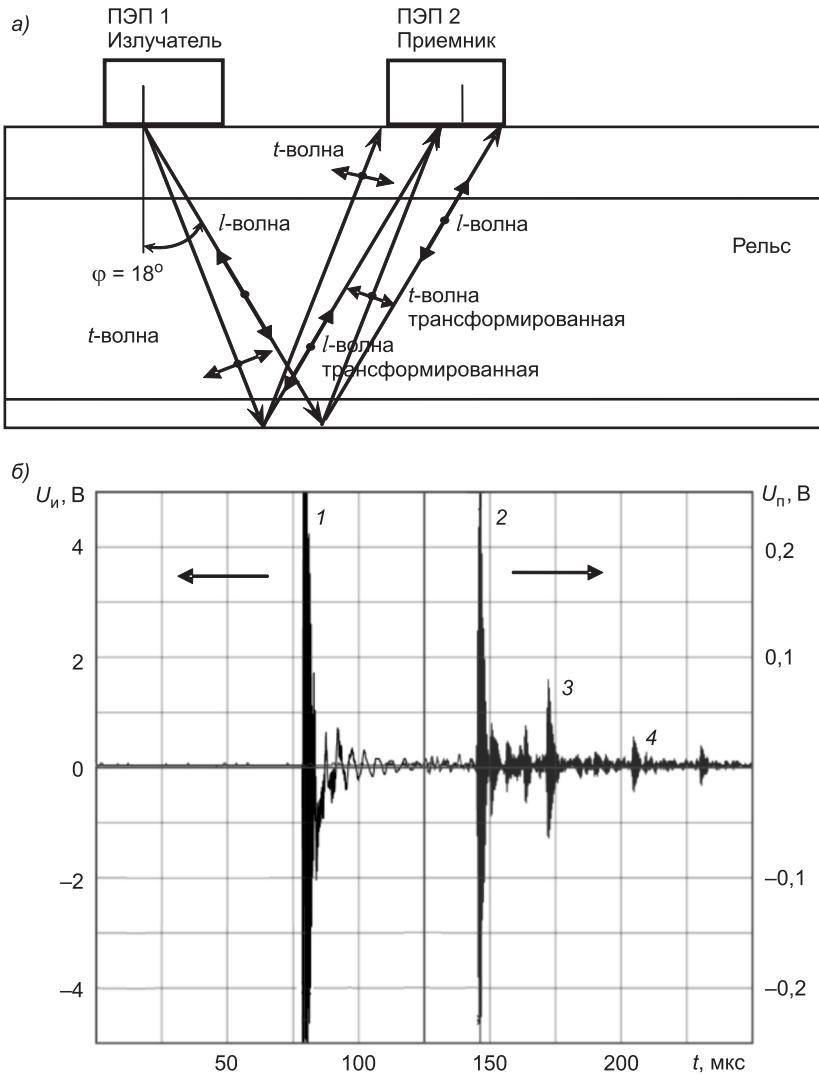


Рис. 1. Схема распространения УЗ-волн в рельсе (а)
и их осциллограммы (б):

1 — зондирующий сигнал; 2—4 — продольная, смешанная,
поперечная волны соответственно

рельса 9 и соединенных между собой поперечной тягой 10, зафиксированной на подошве рельса.

Исследуемый рельс установлен на шести железобетонных полуушпалах 11, залитых бетоном в специальном металлическом корпусе 12 (см. рис. 2) и размещенных на равных расстояниях друг от друга. Рельс крепили клеммовыми и закладными болтами. В поршневую полость гидроцилиндра гидронасосом подавалось масло. При этом гидромеханическая система «цилиндр – муфта – тяга» создавала в рельсе растягивающее усилие. Стабилизатор устойчивости 8 препятствовал поперечному перемещению тяг в любом направлении за счет выборки радиального зазора и контакта тяг с внутренними поверхностями оголовков. Конструкция стенда позволяет создавать и сжимающие напряжения в рельсе.

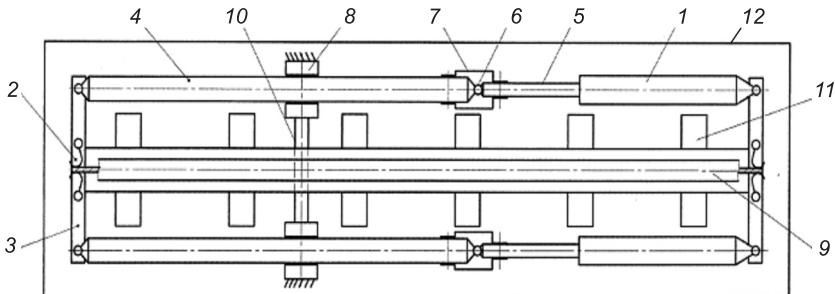


Рис. 2. Структурная схема стенда для создания растягивающих напряжений в рельсе

Для определения деформаций в рельсе на него наклеивали тензодатчики типа ПКС-12 сопротивлением $R = 120$ Ом и базой, равной 12 мм (сертификат RU.C.007A № 30935 введен в Государственный реестр под № 37343-08), и микропроцессорной тензометрической системой ММТС-64.01 класса точности 0,2 (свидетельство RU. C.34. 007.A № 44412, регистрационный номер 21760-01) измеряли деформации и определяли возникающие напряжения при фиксированной температуре [4].

УЗ-волны возбуждались в рельсе дефектоскопом УД2-102 «Пеленг», а измеряемым параметром было время распространения УЗ-сигнала от момента излучения до момента приема. Одновременно осуществлялось измерение температуры окружающей среды и рельса.

При одноосном растяжении рельса установлена зависимость времени прохождения УЗ-волны от механических напряжений. Оценку влияния температуры рельса на результаты измерений проводили при отрицательных и положительных температурах окружающей среды. Исследования продольной УЗ-волны в нагруженном рельсе не выявили однозначной зависимости изменения задержки времени Δt ее распространения от температуры. Наибольший коэффициент чувствительности полученных зависимостей времени распространения продольной УЗ-волны в рельсе (рис. 3, а) был зарегистрирован при температуре -18°C и составил $K_t = 0,005 \text{ нс/МПа}$.

Независимо от температуры была отмечена тенденция к незначительному увеличению времени распространения продольной УЗ-волны при увеличении напряжения в рельсе, т.е. скорость распространения продольной УЗ-волны мало изменялась с увеличением прикладываемой нагрузки к рельсу.

На осциллограммах (см. рис. 1) наблюдалась смешанная волна 3, уступающая продольной волне 2 по скорости распространения из-за наличия в своем составе не только продольных, но и поперечных УЗ-волн. Обработка результатов измерений выявила высокую чувствительность смешанной волны к создаваемым в рельсе механическим напряжениям. Время распространения поперечной волны (см. рис. 3, б) зависит как от механических напряжений в рельсе, так и от температуры. Как видно из рис. 3, б, в, поперечная и смешанная УЗ-волны в нагруженном рельсе более подвержены влиянию температуры, чем продольная волна (рис. 3, а). Следовательно, для определения механических напряжений, создаваемых в нагруженном рельсе при различных температурах, необходимо ис-

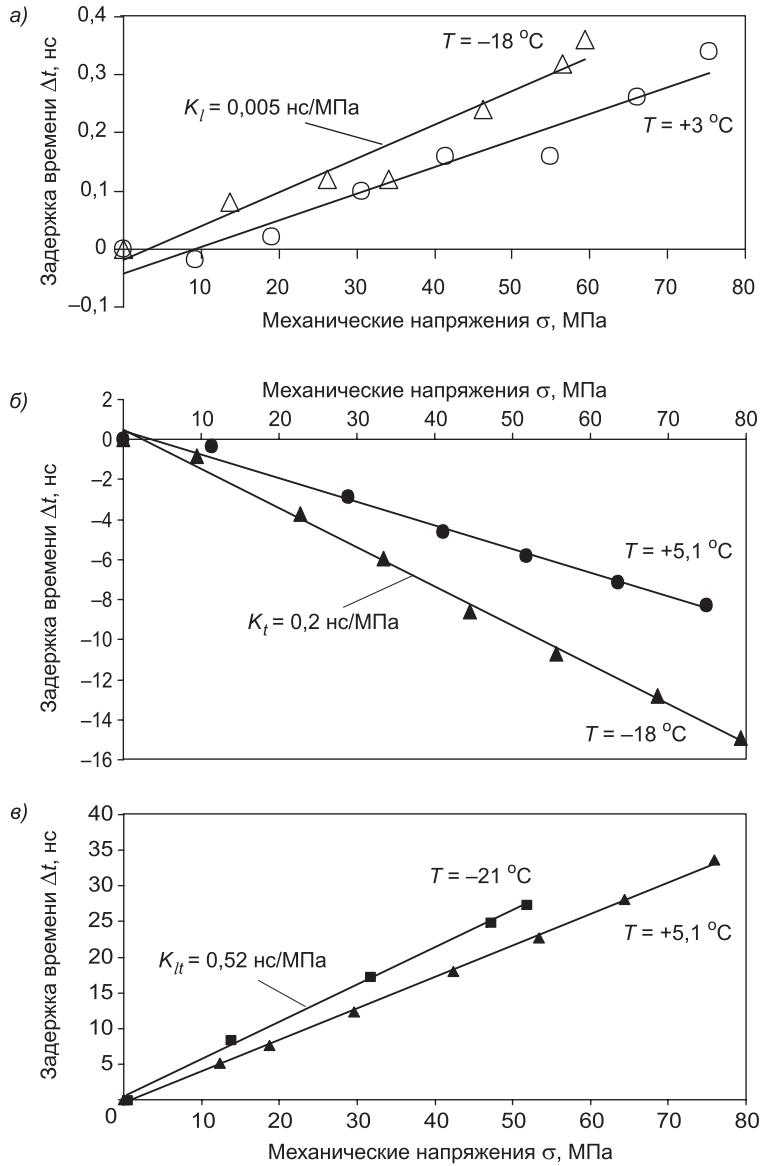


Рис. 3. Зависимость задержки времени распространения продольной (а), поперечной (б) и смешанной (в) волн от напряжений в рельсе при различных температурах

пользовать поперечные или смешанные волны. У этих УЗ-волн температура рельса оказывает влияние на задержку времени их распространения, что вносит погрешность при измерении напряжений. Поэтому необходимо одновременно измерять время распространения УЗ-волн и температуру. Полученные зависимости (см. рис. 3) показывают, что поперечные и смешанные волны в измеряемом температурном диапазоне обладают большей чувствительностью по сравнению с продольной волной и с большей достоверностью позволяют проводить мониторинг механических напряжений, возникающих в рельсовых плетях. С уменьшением температуры чувствительность волн к изменению напряжения

повышается. При отрицательных температурах чувствительность поперечной волны составила $K_t = 0,2 \text{ нс/МПа}$, а смешанной волны — $K_{lt} = 0,52 \text{ нс/МПа}$.

Выходы. 1. Проведенные измерения напряжений с использованием тензометрии и метода акустоупругости позволили установить зависимость времени задержки УЗ-сигнала в нагруженном рельсе от температуры.

2. Предложено регистрировать одним принимающим пьезоэлектрическим преобразователем три типа волны — продольную, поперечную и смешанную. Полученные экспериментальные результаты показывают, что при положительных и отрицательных температурах в предложенной схеме прозвучивания наибольшей чувствительностью к изменению напряжения в рельсе обладают поперечные и смешанные волны. При отрицательных температурах чувствительность поперечной волны $K_t = 0,2 \text{ нс/МПа}$, а смешанной — $K_{lt} = 0,52 \text{ нс/МПа}$.

3. Решение задачи определения коэффициентов чувствительности УЗ-волн к напряжению в зависимости от температуры рельсов позволит реализовать круглогодичный мониторинг их напряженно-деформированного состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлева, Т.Г. Железнодорожный путь [Текст] / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпушкинко, С.И. Клинов. — М. : Транспорт, 1999. — 405 с.
2. Карпов, И.Г. Измерение напряжений в плетях бесстыкового пути акустическим методом [Текст] / И.Г. Карпов, Е.В. Филатов, М.В. Лопатин // Вестн. транспорта Поволжья. — 2012. — № 1(31). — С. 53–59.
3. Бехер, С.А. Использование эффекта акустоупругости при исследовании механических напряжений в рельсах [Текст] / С.А. Бехер, А.Н. Курбатов, Л.Н. Степанова // Вестн. РГУПС. — 2013. — № 2. — С. 104–111.
4. Степанова, Л.Н. Исследование напряженного состояния рельса с использованием акустоупругости и тензометрии [Текст] / Л.Н. Степанова, С.А. Бехер, А.Н. Курбатов, Е.С. Тенитилов // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 7. — С. 103–109.

СТЕПАНОВА Людмила Николаевна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: stepanova@stu.ru

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
КУРБАТОВ Александр Николаевич, ст. препод.; E-mail: kant@stu.ru*

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
ТЕНИТИЛОВ Евгений Сергеевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: voxel@stu.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
ГЛУХОВ Борис Васильевич, инж., доц.*

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 30.04.14

Stepanova Ludmila Nikolaevna, doctor of technical sciences, professor; E-mail: stepanova@stu.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Kurbatov Aleksandr Nikolaevich, senior lecturer; E-mail: kant@stu.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Tenitilov Evgeniy Sergeevich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: voxel@stu.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Glukhov Boris Vasilevich, engineer, assistant professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE DELAY TIME OF ULTRASONIC WAVE IN THE RAIL

The researches of dependence of ultrasound wave transmission time on mechanical stress in loaded rail were carried out using acousto-elastic method. The temperature effect on time-propagation delay of longitudinal, transverse and mixed mode waves in it was considered. Results of stress measurement with usage ultrasound waves were verified by strain gauge method.

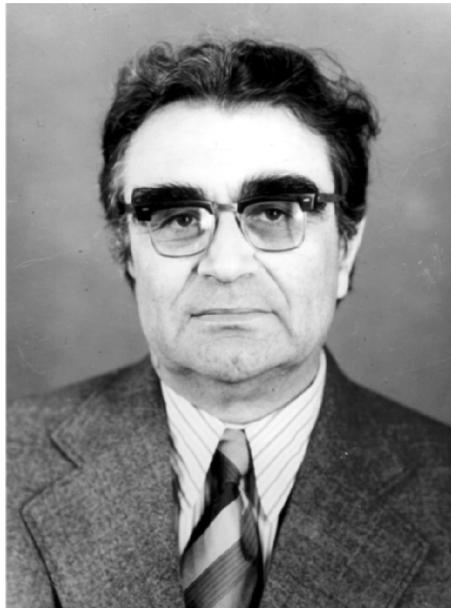
Key words: stress, rail, acoustoelasticity, temperature, delay time, ultrasonic wave.

REFERENCES

1. Yakovleva, T.G. Railway track [Text] / T.G. Yakovleva, N.I. Karpushchenko, S.I. Klinov. — M. : Transport, 1999. — 405 p.
 2. Karpov, I.G. Strain measurements in long-welded rails stalks by method of acoustic emission [Text] / I.G. Karpov, E.V. Filatov, M.V. Lopatin // Volga region transport bulletin. — 2012. — N 1(31). — P. 53–59.
 3. Bekher, S.A. Acoustic elasticity effect usage while investigation of mechanical strains in rails [Text] / S.A. Bekher, A.N. Kurbatov, L.N. Stepanova // Bull. RSTU. — 2013. — N 2. — P. 104–111.
 4. Stepanova, L.N. Mechanical strains condition investigation in rails by means of acoustic elasticity and strain measurement [Text] / L.N. Stepanova, S.A. Bekher, A.N. Kurbatov, E.S. Tenitilov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 7. — P. 103–109.
-

ПАМЯТИ ПЕТРА АНДРЕЕВИЧА ДМИТРИЕВА, ВЫДАЮЩЕГОСЯ КОНСТРУКТОРА, УЧЕНОГО И ПЕДАГОГА

11 мая 2014 г. на 91-м году ушел из жизни доктор технических наук, член-корреспондент АН высшей школы, создатель сибирской школы в области конструкций из дерева и пластмасс, профессор-консультант кафедры «Металлические и деревянные конструкции» НГАСУ (Сибстрин)
Петр Андреевич Дмитриев



Петр Андреевич Дмитриев родился 6 декабря 1923 г. в г. Семипалатинске. В 1936 г. его семья переехала в г. Новосибирск, где в 1941 г. он окончил среднюю школу, а затем обучался в НИСИ им. В.В. Куйбышева. После окончания института с отличием в 1947 г. Петр Андреевич навсегда связал свою судьбу с этим вузом.

В 1954 г. в Московском строительном институте он успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1975 г. стал доктором технических наук. В 1978 г. Петру Андреевичу предлагали переехать в Москву и возглавить кафедру деревянных конструкций в Московском строительном институте, но он отказался. Оставшись в Новосибирске, в НИСИ, Петр Андреевич Дмитриев в течение ряда лет возглавлял кафедру металлических и деревянных конструкций, а затем и вновь созданную кафедру конструкций из дерева и пластмасс, которая под его руководством превратилась в одну из самых сильных по своему научному потенциалу среди аналогичных кафедр. Результатом активной научной, организационной и педагогической деятельности профессора П.А. Дмитриева стало формирование признанной в нашей стране и за рубежом научной школы. Эта школа внесла весомый вклад в решение проблем совершенствования конструктивной формы, теории расчета и оптимизации новых видов комплексных конструкций на основе древесины. Петр Андреевич — автор более 300 научных трудов в области строительных конструкций из дерева и пластмасс, 6 монографий. Им получено более 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Под его руководством защитили кандидатские диссертации 17 аспирантов, подготовлены и защищены 2 докторские диссертации.

Многие годы Петр Андреевич сохранял активные творческие связи с учеными вузов и исследовательскими организациями нашей страны, работающими в области строительных конструкций и теории расчета сооружений, со специалистами-практиками. Итогом таких научных контактов явилось выполнение ряда актуальных совместных проектов в рамках различных межвузовских программ и конкурсов грантов. Научные результаты его работ и инженерные решения использованы в нормативных документах и руководствах по проектированию, в учебниках и учебных пособиях, а также применяются при разработке новых экспериментальных и типовых конструкций в ведущих научно-исследовательских и проектных организациях (ЦНИИСК, ЦНИИПромзданий, ЦНИИЭПсельстрой, СибЗНИИЭП и др.). За последнее десятилетие изданы такие работы, как: специальный курс конструкции из дерева и пластмасс «Автодорожные и пешеходные мосты» (2002); «Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры» (2002); монографии «Большеразмерные совмещенные плиты из клееной древесины и пространственные конструкции на их основе» (2007); учебное пособие «Конструкции из дерева и пластмасс. Курс в вопросах и ответах» (2011).

Многогранна научно-педагогическая и инженерная деятельность П.А. Дмитриева: длительное время он работал членом секции «Деревянные конструкции» Научно-координационного совета Госстроя СССР; являлся членом ученого совета Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета; советов по защите кандидатских и докторских диссертаций при Новосибирском ГАСУ (Сибстрин) и Сибирском федеральном университете (г. Красноярск). Много лет Петр Андреевич плодотворно работал как член редколлегии журнала «Известия вузов. Строительство». Деятельность его отмечена почетной грамотой Минвуза РФ, а также орденом «Знак Почета», медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда», почетным знаком Минвуза СССР «За отличные успехи в работе» и другими наградами.

Высокий профессионализм и замечательные личные качества Петра Андреевича: интеллигентность, эрудированность, доброжелательность и внимательность к людям в сочетании с принципиальностью и твердостью в отстаивании истины вызывали глубокое уважение к нему.

Петра Андреевича его ученики называли и называют Учителем с большой буквы.

Светлая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.

И.С. Инжутов — директор ИСИ СФУ, д-р техн. наук, профессор, акад. РАН

В.И. Жаданов — зав. кафедрой «Строительные конструкции» ОГУ, д-р техн. наук, профессор

В.В. Пуртов — канд. техн. наук, доцент кафедры МДК, НГАСУ (Сибстрин)

В.Н. Шведов — канд. техн. наук, доцент кафедры МДК, НГАСУ (Сибстрин)

А.В. Павлик — ст. преподаватель кафедры МДК, НГАСУ (Сибстрин)

Редакция журнала «Известия вузов. Строительство»

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотация на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстраций, в том числе фотографий, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2014 г. — из расчета 800 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2014 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 2400 р.

Цена отдельного номера — 400 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО
№ 5 (665) 2014

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*