



ВЕСТНИК

ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО № 33 (209)
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА 2010

ISSN 1991-9743

СЕРИЯ

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

Выпуск 11

Учредитель – ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»

Редакционная коллегия серии:

д.т.н., профессор **В.М. Асташкин**

(*отв. редактор*);

Т.А. Кравченко (*отв. секретарь*);

д.т.н., профессор **С.Г. Головнев**;

д.т.н. **С.Е. Денисов**;

д.т.н., профессор **В.И. Панферов**;

д.т.н., профессор **А.Н. Потапов**;

к.т.н., профессор **В.В. Спасибожко**;

д.т.н., профессор **Б.Я. Трофимов**.

Серия основана в 2001 году.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-26455
выдано 13 декабря 2006 г. Федеральной службой по
надзору за соблюдением законодательства в сфере
массовых коммуникаций и охране культурного на-
следия.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы
данных ВИНТИ. Сведения о журнале ежегодно
публикуются в международной справочной системе
по периодическим и продолжающимся изданиям
«Ulrich's Periodicals Directory».

Решением Президиума Высшей аттестационной
комиссии Министерства образования и науки Рос-
сийской Федерации от 19 февраля 2010 г. № 6/6 жур-
нал включен в «Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых степеней доктора и
кандидата наук».

Подписной индекс 29563 в объединенном каталоге
«Пресса России».

Периодичность выхода – 2 номера в год.

СОДЕРЖАНИЕ

Теория расчета строительных конструкций

ВАЛИАХМЕТОВА Ж.Ф., АСТАШКИН В.М. Анизотропия свойств стеклопластиков на ровинге и ее влияние на конструктивные решения стеклопластиковых дымовых труб и заглубленных резервуаров	4
СУББОТИН Е.В., АСТАШКИН В.М. Диффузоры дымовых труб в виде оболочки вращения с криволинейной образующей	8
ТЕРЯНИК В.В., БОРИСОВ А.О. О влиянии сцепления бетона на прочность и деформативность сжатых усиленных элементов	13
ЛЯН ЭРГО, ЛИ ЦЗЫФЭН, ЧЭНЬ ХУНБИН Влияние ползучести горных пород на нагрузки обсадной колонны	17

Технология и организация строительного производства

БАЙБУРИН А.Х. Исследование влияния технологических факторов на уровень качества возведения гражданских зданий	20
---	----

Строительные материалы, изделия и конструкции

ОРЛОВ А.А., КРАМАР Л.Я., ЧЕРНЫХ Т.Н., ТРОФИМОВ Б.Я., БЕЛОБОРОДОВА Е.С. Низкообжиговое магнезиальное вяжущее из бруситовых пород	25
САМОЙЛЕНКО А.Б., ШЕСТАКОВ В.Н. Влияние раствора гидроксида натрия на морозное пучение глинистого грунта	29
ПАРФЕНОВ А.С., ПАСТУШЕНКО И.В., ЗЕМЛЯНОВА К.В., ЧУЛКОВА И.Л. Влияние добавки ССФС и топливной золы отвалов на свойства цементных бетонов	32

Инженерное оборудование зданий и сооружений

ВАСИЛЬЕВ Ю.С., МУСТАФИНА Ю.М. К вычислению постоянной времени при решении задачи теплопроводности	35
ПАНФЁРОВ С.В. Энергосберегающая система управления температурным режимом отапливаемых зданий	42
СОЛОМИН Е.В. Размещение ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения на ответственных инженерных объектах	47

Научно-методический раздел

МУСИХИН В.А. Комплексное изучение курса «Строительные конструкции» студентами строительных специальностей	52
---	----

Сведения об авторах	57
---------------------------	----

CONTENTS

Theory of structural analysis

VALIAKHMETOVA G.F., ASTASHKIN V.M. Anisotropy directionality of glass-fibre plastic on roving and its influence on constructive decisions of glass-fibre plastic towels and sunken vessels	4
SUBBOTIN Y.V., ASTASHKIN V.M. Smoke pipe diffusers in the shape of the roller shell with a curvilinear cone	8
TERYANIK V.V., BORISOV A.O. About the influence of the concrete bond on the strength and deformability of reinforced compression elements	13
LIANG ERGUO, LI ZIFENG, CHEN HONGBING Mechanical effect of creep formation on oil well casing	17

Technology and organization of construction operations

BAIBURIN A.K. Research of technology facilitation influence on the quality level of civil building	20
--	----

Building and constructional materials and items

ORLOV A.A., KRAMAR L.I., CHERNIKH T.N., TROFIMOV B.I., BELOBORODOVA E.S. Low calcining magnesia astringent from brucite rocks	25
SAMOYLENKO A.B., SHESTAKOV V.N. Influence of solutions hydroxide sodium on frost heaving of the clay soil	29
PARFYONOV A.S., PASTUSHENKO I.V., ZEMLIANOVA K.V., CHULKOVA I.L. The influence of agent DSPP and dump fuel ashes on quality of cement concrete	32

Plumbing and heating installations of buildings and constructions

VASILIEV Y.S., MUSTAFINA Y.M. To the calculating characteristic time in the process of solving heat conduction problem	35
PANFEROV S.V. Energy-saving control system for the temperature mode of heated buildings ...	42
SOLOMIN E.V. Placement of the vertical axis wind turbines at important engineering projects ...	47

Methodological section

MUSIKHIN V.A. Integrated study of the course “Engineering structures” by constructor students	52
---	----

Information about the authors	57
--	----

Теория расчета строительных конструкций

УДК 678.5.029.46:666.189.2+624.074.4

АНИЗОТРОПИЯ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА РОВИНГЕ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ И ЗАГЛУБЛЕННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Ж.Ф. Валиахметова, В.М. Асташкин

ANISOTROPY DIRECTIONALITY OF GLASS-FIBRE PLASTIC ON ROVING AND ITS INFLUENCE ON CONSTRUCTIVE DECISIONS OF GLASS-FIBRE PLASTIC TEWELS AND SUNKEN VESSELS

G.F. Valiakhmetova, V.M. Astashkin

Исследована степень анизотропии механических свойств материала стеклопластиковых конструкций, изготовленных намоткой с применением ровинга, и температурная зависимость его модуля упругости, даны рекомендации по нормированию свойств. Установлено, что снижение характеристик стеклопластика в направлении образующей по сравнению с тканевым армированием не приводит к увеличению толщины стенок заглубленных резервуаров. Повышение температуры существенно снижает модуль упругости стеклопластика, намотанного ровингом, особенно в направлении образующей, что следует учитывать при проектировании дымовых труб.

Ключевые слова: стеклопластик, ровинг, анизотропия, резервуары, дымовые трубы.

The anisotropy degree of mechanical properties of materials of glass-fibre plastic constructions, made by winding with using roving, and the temperature dependence of its elasticity module are analyzed; recommendations on quality normalization are given. It is determined that deterioration of characteristics of glass-fibre plastic in the line of generating in comparison with textile reinforcement does not increase the wall thickness of sunken vessels. The temperature increase appreciably reduces elasticity module of glass-fibre plastic wounded by roving, especially in the line of generation that should be taken into account while designing tewels.

Keywords: glass-fibre plastic, roving, anisotropy, tanks, chimnies.

В качестве армирующего наполнителя для стеклопластика используют ткани из стекловолокна с различным переплетением волокон, первичные крученые и некрученые нити, рубленные волокна или ровинг, представляющий собой некрученую пряжу из нитей непрерывного стекловолокна. Наполнители оказывают существенное влияние на свойства стеклопластиков, особенно на прочность, ударную вязкость, теплостойкость и пр. [1, 2].

В производстве крупногабаритных изделий из стеклопластиков методом мокрой намотки в основном рекомендуется применение ткани полотняного и сатинового переплетения из-за простоты технологической оснастки и высоких прочностных характеристик материала в изделии как в кольцевом направлении, так и по образующей [3]. Однако при одинаковой массе стоимость ткани на 30 % выше, чем ровинга, при намотке в стационарных

условиях можно одновременно наматывать большое количество его пряжей, поэтому применение ровинга экономически оправдано. Но применение ровинга обуславливает преимущественное армирование в кольцевом направлении и более существенную анизотропию, величина и проявление которой требуют оценки и учета при проектировании изделий.

Нами проведена работа по оценке возможности применения намоточного полиэфирного стеклопластика на ровинге для конструкций заглубленных резервуаров большого диаметра и стволов дымовых труб при температурах до 200 °С, для чего были изучены механические характеристики материалов в разных направлениях, зависимость модуля упругости от температуры, и характер проявления этих свойств в исследуемых конструкциях.

Были выполнены испытания образцов стеклопластика, вырезанных из оболочек, намотанных ровингом с двумя прослойками ткани TP-04, основной ориентированной по образующей, с использованием полиэфирной смолы Polylight в качестве связующего. Испытания проводились на изгиб, растяжение и сжатие в кольцевом направлении и по образующей.

Кроме того, были проведены исследования температурной зависимости образцов стеклопластика, намотанного ровингом, с использованием теплостойкой эпоксивинилэфирной смолы DERAКANE 470 HT-400 в качестве связующего. У производителя данной смолы имеется информация о свойствах эпоксидных винилэфирных смол и стеклопластика на их основе, в том числе о температуре тепловой деформации смолы [4]. Однако нет данных об изменении свойств стеклопластика в зависимости от температуры и направления армирования.

Испытание и обработка результатов проводились согласно [1, 5, 6, 7]. Коэффициент армирова-

ния образцов, определенный выжиганием связующего, составил 70 %. При испытании на изгиб разрушение образцов происходило с расслоением по вмотанной стеклоткани. Межслойный сдвиг проявляется также при разрушении в результате растяжения и сжатия (рис. 1).

На рис. 2 приведена характерная диаграмма работы образца на изгиб и выделенный линейный участок.

Сводные данные о рекомендуемых нормативных и расчетных характеристиках намоточного полиэфирного стеклопластика на смоле Polylight и ровинге, а также их сопоставление с характеристиками стеклопластика на тканевой основе (по данным [3]) приведены в табл. 1, 2.

Для оценки зависимости упругих свойств от температуры образцы стеклопластика нагревались в термокамере, позволяющей поддерживать постоянную температуру, где измерялся их прогиб при нагружении и разгрузке. Испытания проводились при температурах 25, 120, 150, 160, 180, 200 °С и при промежуточных охлаждениях до 25 °С. После

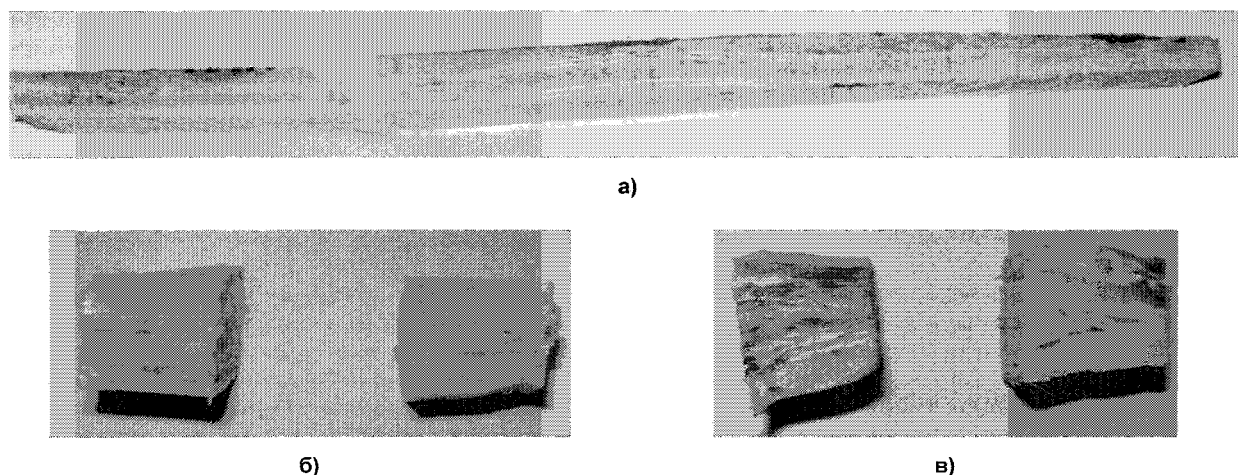


Рис. 1. Разрушение образцов: а) при растяжении; б) при сжатии по образующей; в) при сжатии в кольцевом направлении

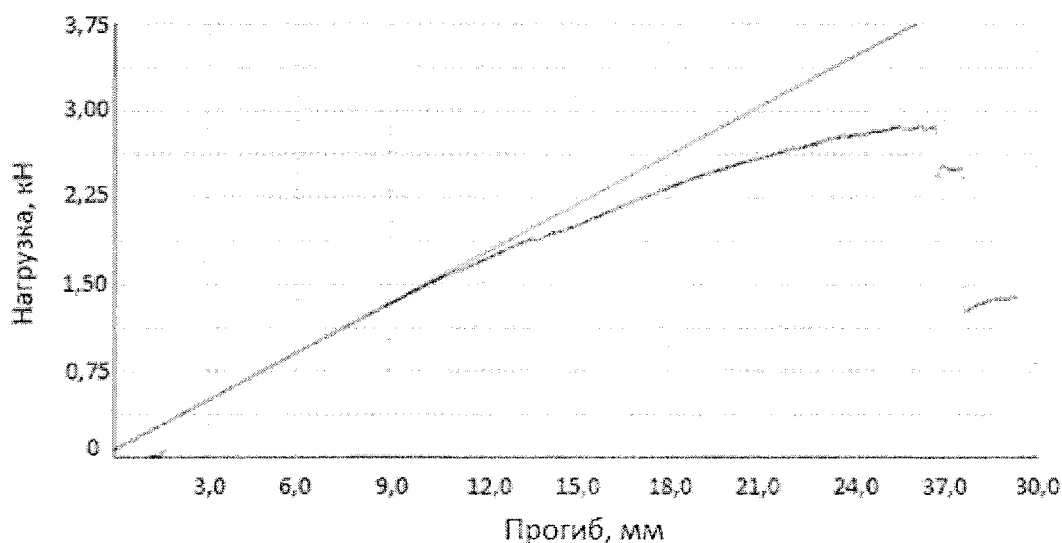


Рис. 2. Диаграмма работы образца на изгиб

Таблица 1

Напряженное состояние	Нормативные / расчетные сопротивления для стеклопластика на полиэфирной смоле, МПа		Соотношение характеристик <i>ровинг / ткань</i>
	на ровинге (по результатам испытания)	на тканевой основе (справочно)	
Сжатие в кольцевом направлении	153 / 38	100 / 25	1,5
Сжатие по образующей	45 / 11	80 / 20	0,56
Растяжение в кольцевом направлении	230* / 57*	180 / 45	1,3
Растяжение по образующей	76 / 19	100 / 25	0,76
Изгиб в кольцевом направлении	190 / 47	165 / 41	1,15
Изгиб по образующей	63 / 16	110 / 28	0,57

* Прогнозируемая величина (пропорционально прочности при изгибе).

Таблица 2

Напряженное состояние	Нормативные / расчетные модули упругости для стеклопластика на полиэфирной смоле, МПа		Соотношение характеристик <i>ровинг / ткань</i>
	на ровинге (по результатам испытания)	на тканевой основе (справочно)	
Изгиб в кольцевом направлении	23902 / 8764	21000 / 7700	1,14
Изгиб по образующей	12170 / 4462	12000 / 4400	1,01

чего рассчитывался модуль упругости при разных температурах $E(t)$, а также модуль упругости до нагрева $E_{нач}$ и после нагрева $E_{посл}$ при температуре 25 °С.

Средние значения модуля упругости при температуре 25 °С:

– изгиб в кольцевом направлении

$$E = 29\,726 \text{ МПа};$$

– изгиб по образующей

$$E_{90} = 13\,595 \text{ МПа}.$$

На рис. 3 представлен график, показывающий повышение модуля упругости образцов после цикла нагрев-охлаждение. Такое изменение показывает, что полимеризация образцов была не полной и продолжилась при нагревании.

Результаты изменения модуля упругости с ростом температуры представлены на рис. 4. Из анализа графиков рис. 4 следует, что при тем-

пературе выше 180 °С даже у стеклопластика на термостойкой смоле DERAKANE 470 HT-400 происходят структурные изменения в материале.

Проявление анизотропии стеклопластика оценивалось на примере заглубленных резервуаров (вертикальных и горизонтальных диаметром до 3,6 м при заглублении до 10 м) и стволов дымовых труб, в последнем случае и с учетом изменения свойств при нагреве.

Расчет вертикальных резервуаров производился на потерю устойчивости в кольцевом направлении как для короткой оболочки, подкрепленной по торцам согласно [8].

Горизонтальные емкости рассчитаны по методике расчета подземных трубопроводов из ПКМ [9, с. 125–127]. Подкрепляющее действие торцов на устойчивость стенки в кольцевом направлении учитывалось исходя из отношения длины оболочки к длине окружности подобно сводчатому по-

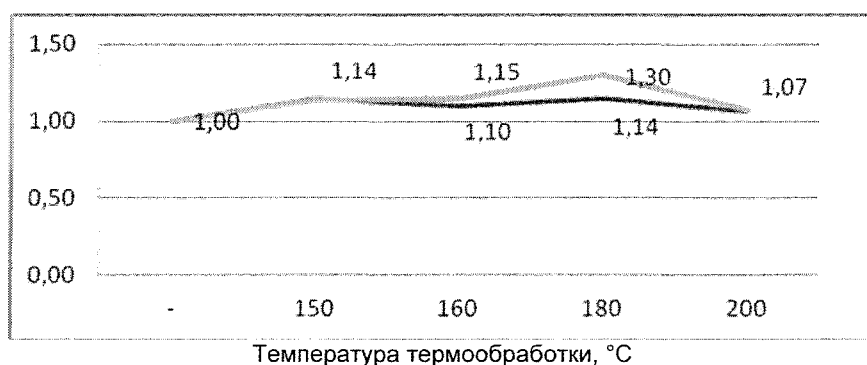


Рис. 3. Повышение модуля упругости после термообработки (в долях к первоначальному значению)

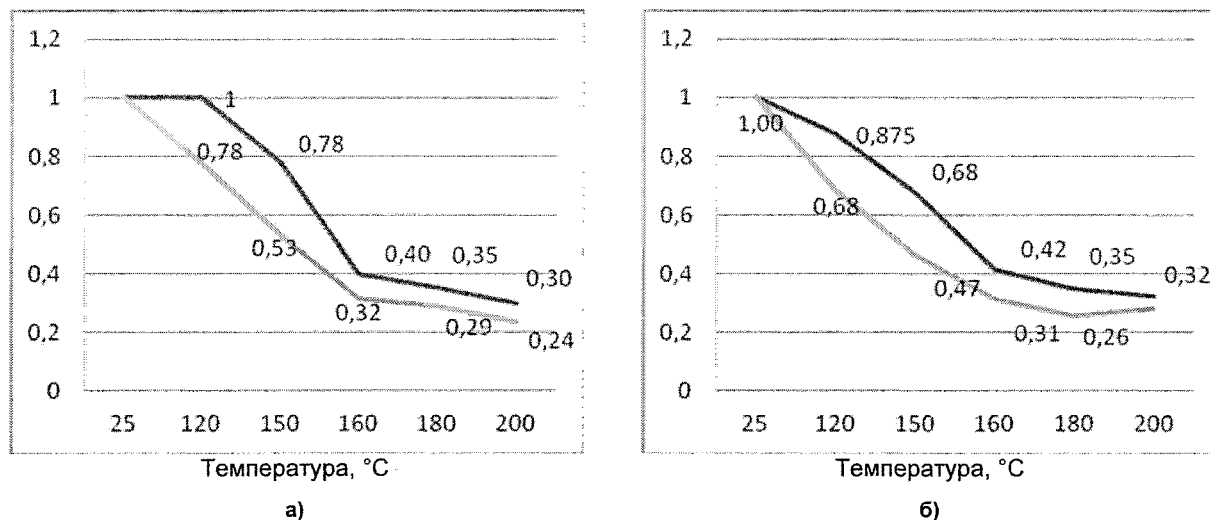


Рис. 4. Относительная зависимость: а – $E(t)/E_{нач}$ от температуры; б – $E(t)/E_{посл}$ от температуры; — в кольцевом направлении; - - - по образующей

крытиям [10, с. 226]. Предельное значение относительной деформации вертикального диаметра трубы принято 3 %.

В результате расчета определена требуемая толщина стенки резервуара. Наличие ребер жесткости позволяет ее уменьшить за счет возрастания критических напряжений.

По результатам расчета установлено, что относительное снижение характеристик стеклопластика в направлении образующей не приводит к увеличению толщины стенок оболочек, поскольку для вертикальных резервуаров определяющим условием является устойчивость стенки в кольцевом направлении, для горизонтальных – величина овализации при запасе по устойчивости.

При исследовании образцов стеклопластика в интервале температур 25–200 °C все образцы показали схожее относительное изменение кратковременного модуля упругости. При повышении температуры модуль упругости стеклопластика, намотанного ровингом, особенно сильно снижается в направлении образующей, поэтому у краев воспринимающих осевые усилия оболочек, где косое армирование ровингом не осуществимо, обязательно выполнение дополнительного осевого армирования тканью.

По результатам испытаний и расчетов сделаны следующие выводы:

1. Для исследованных образцов характерна значительная анизотропия: прочность в кольцевом направлении в 3 раза превышает прочность в направлении образующей, модуль упругости в кольцевом направлении в 2 раза превышает модуль упругости в направлении образующей.

2. Прочность стеклопластика на ровинге в кольцевом направлении в 1,3 раза выше прочности стеклопластика на тканевой основе.

3. Прочность стеклопластика на ровинге по образующей составляет около 0,6 от прочности стеклопластика на тканевой основе.

4. Модули упругости стеклопластика на ро-

винге и ткани в обоих направлениях практически совпадают.

5. Снижение характеристик стеклопластика в направлении образующей не приводит к увеличению толщины стенок заглубленных резервуаров.

6. Повышение температуры существенно снижает модуль упругости стеклопластика, намотанного ровингом, особенно в направлении образующей, что следует учитывать при проектировании дымовых труб.

Литература

1. Руководство по проектированию, расчету и методам контроля газоходов и ванн из бипластмасс / В.М. Асташкин, С.Г. Иванов и др. – М.: Главтепломонтаж, 1979. – 124 с.
2. Конструкционные стеклопластики / В.И. Альперин и др. – М.: Химия, 1979. – 358 с.
3. Асташкин, В.М. Руководство по проектированию коррозионностойкого нестандартного оборудования и сооружений промышленных предприятий из конструкционных пластмасс / В.М. Асташкин, В.А. Пазуцан, В.В. Продайко. – Челябинск: ЧГТУ, 1990. – 163 с.
4. По материалам сайта www.composite.ru
5. ГОСТ 14359–69*. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
6. ГОСТ 4648–71. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб.
7. ГОСТ 11262–80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
8. ПБ 03-381-00. Правила устройства вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. – М.: Госгортехнадзор, 2002.
9. Проектирование, строительство и эксплуатация трубопроводов из полимерных материалов / под ред. А.Н. Шестопала, В.С. Ромейко. – М.: Стройиздат, 1985. – 304 с.
10. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. пособие / Г.Н. Зубарев и др. – М.: Академия, 2006. – 304 с.

Поступила в редакцию 26 августа 2010 г.

ДИФFUЗОРЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ В ВИДЕ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ОБРАЗУЮЩЕЙ

Е.В. Субботин, В.М. Асташкин

SMOKE PIPE DIFFUSERS IN THE SHAPE OF THE ROLLER SHELL WITH A CURVILINEAR CONE

Y.V. Subbotin, V.M. Astashkin

Показано, что общие закономерности влияния формы образующей диффузора при его работе в сети могут быть применены и при оценке работы диффузоров на выходе из дымовой трубы. Проведены численные исследования внутренней и наружной аэродинамики диффузоров при их различной относительной длине и форме образующей. Рассмотрены материалоемкость и технологичность изготовления стеклопластиковых криволинейных диффузоров, отмечается их преимущество перед металлическими диффузорами.

Ключевые слова: дымовые трубы, диффузоры, стеклопластик.

It is shown that the general rules of the diffuser generatrix shape impact in its line work can be also applied in the process of estimating diffusers' activity at the smoke pipe outlet. Numerical studies of inner and outer aerodynamics of diffusers of different relative length and generatrix shape were carried out. Materials consumption and production effectiveness of glass-fibre-reinforced plastic curvilinear diffusers are considered and their advantage over metal diffuser is shown.

Keywords: smoke pipes, diffusers, glass-fiber material.

Аэродинамические характеристики дымовых труб существенно сказываются как на общем сопротивлении газоотводящего тракта, так и на степени агрессивного воздействия дымовых газов на конструкции труб. Установка на выходе из них диффузоров позволяет существенно снизить, а в некоторых случаях полностью ликвидировать избыточное давление газов в трубах и газоходах, фильтрацию газов через негерметичную футеровку, уменьшить перепад полных давлений по газовому тракту и снизить расход энергии на транспортировку газов. Традиционно диффузоры для труб выполнялись из стали. Учитывая технологию изготовления и монтажа диффузоров, преимущество отдавалось простым диффузорам – коническим с прямолинейной образующей. Их геометрическую форму можно характеризовать двумя параметрами: относительной длиной диффузора L_d/d и углом раскрытия α . Из-за больших диаметров труб длину диффузоров приходится ограничивать по соображениям конструктивного и монтажного характера. Требование минимальной длины особенно важно для диффузоров, устанавливаемых на существующих дымовых трубах, рассчитанных на определенную ветровую нагрузку, которая с появлением диффузоров увеличивается. Поэтому для дымовых труб характерно применение сравнительно коротких диффузоров $L_d/d \leq 2$,

но снижение их относительной длины L_d/d ведет к увеличению сопротивления диффузора.

Применение стеклопластика позволяет пересмотреть подходы к проектированию диффузоров для дымовых труб, так как стеклопластик обеспечивает коррозионную стойкость и позволяет изготавливать более эффективные с точки зрения аэродинамики формы. Здесь, прежде всего, идет речь о диффузорах с криволинейной образующей [1].

В работах [2–4] показано, что применение криволинейной образующей диффузора в трубопроводных сетях при больших углах раскрытия дает существенное преимущество по сравнению с прямолинейной образующей. При этом практически отсутствуют данные по криволинейным диффузорам, установленным на выходе из труб в свободное пространство, в том числе при режимах, характерных для дымовых труб.

Для оценки эффективности стеклопластиковых криволинейных диффузоров необходимо рассмотреть их внутреннюю и наружную аэродинамику, материалоемкость и технологичность изготовления.

Аэродинамика диффузоров

Известно [2–4], что при течении жидкости или газа по каналу с внезапным расширением поперечного сечения имеют место потери напора на удар, которые могут быть определены как

$$\Delta h_{\text{уд}} = \frac{\rho}{2} (W_1 - W_2)^2 = \frac{\rho W_1^2}{2} \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2,$$

где ρ – плотность жидкости (газа), W_1 , F_1 и W_2 , F_2 – скорость и площадь сечения на входе и на выходе соответственно.

Максимальные потери получают при выходе потока из канала в свободное пространство (в атмосферу), когда $F_2 = \infty$ (или $W_2 = 0$). В этом случае весь скоростной напор, имеющийся в выходном сечении, теряется и коэффициент сопротивления с выходом будет равен

$$\zeta_{\text{уд}} = \frac{\Delta h_{\text{уд}}}{0,5\rho W_1^2} = 1,0.$$

Потери удара можно значительно уменьшить, если переход от узкого сечения к широкому осуществить плавно, с помощью диффузора (расширяющегося канала).

Изучение диффузоров началось в XVIII веке, интенсивно велось на протяжении всего XX века и не прекращается в настоящее время. Вследствие того, что в диффузоре с ростом площади поперечного сечения средняя скорость потока при увеличении угла расширения α падает, общий коэффициент сопротивления диффузора становится до определенных пределов α меньшим, чем для такой же длины участка трубы постоянного сечения с площадью, равной начальной площади сечения диффузора. Но дальнейшее увеличение этого угла повышает коэффициент сопротивления, так как пограничный слой отрывается от стенок и усиливается турбулентное перемешивание потока.

Было экспериментально доказано, что весьма удачным с точки зрения уменьшения потерь при расширении потока является применение таких диффузоров, в которых соблюдалось бы постоянство градиента давлений ($dp/dx = \text{const}$) или скоростей ($dW/dx = \text{const}$) вдоль канала.

Проведенные И.Е. Идельчиком [3, 4] испытания в сети криволинейных диффузоров ($dp/dx = \text{const}$) показали, что в пределах углов расширения 25–90° уменьшение потерь в них по сравнению с прямолинейными доходит до 40 %.

Испытаний диффузоров с криволинейной образующей, установленных на выходе в свободное пространство ($F_2/F_1 = \infty$) И.Е. Идельчиком не проводилось. Однако, учитывая общность рассмотренных физических явлений и закономерностей в аэродинамике диффузоров, можно предположить, что установка криволинейных диффузоров на выходе в свободное пространство даст результаты, подобные полученным на криволинейных диффузорах, за которыми установлены дополнительные участки трубопроводов.

Действительно, по Идельчику [3, 4] потери энергии в прямолинейном диффузоре, установленном на выходе потока в свободное простран-

во, складываются из потерь в самом диффузоре (те же потери, что и в диффузоре, установленном в сети) и потери кинетической энергии при выходе потока в свободное пространство.

Истинная кинетическая энергия струи на выходе из диффузора вследствие неравномерности профиля скоростей в этом месте должна быть больше кинетической энергии, взятой по средней скорости, следовательно, и потери напора в диффузоре со свободным выходом должны быть больше, чем потери, взятые для случая равномерного распределения скоростей на выходе.

Если пренебречь влиянием указанной неравномерности, то выражение для коэффициента сопротивления диффузора круглого сечения со свободным выходом можно будет написать в виде

$$\zeta_{\text{полн}} = \zeta_{\text{д}} + \zeta_{\text{вых}}.$$

Изменение параметров диффузора по разному влияет на слагаемые этой формулы и может быть решена задача по минимизации этой суммы, то есть минимизации $\zeta_{\text{полн}}$.

Для учета неравномерностей профиля скоростей на выходе Идельчиком была предложена поправка σ в диапазоне углов расширения 5–20°, с учетом которой

$$\zeta_{(\text{полн})\text{ист}} = (1 + \sigma)\zeta_{\text{полн}}.$$

Величина поправки σ берется в диапазоне от 0 до 0,5 в зависимости от длины диффузора (чем короче диффузор, тем больше поправка). Экстраполировать ее на углы расширения больше 20° не представляется возможным.

Учитывая, что величины кинетической энергии на выходе струи из диффузоров с прямолинейной и криволинейной образующей с учетом рассмотренных особенностей величины идентичные, а потери в самом диффузоре аналогичны потерям в диффузоре, установленном в сети, допущение об эффективности использования криволинейных диффузоров на выходе из дымовых труб можно считать обоснованным. Для более точной оценки данной гипотезы необходимо проведение экспериментальных и численных исследований.

Существующая методика аэродинамического расчета газоотводящего тракта тепловых агрегатов [5] предусматривает учет в перепаде полных давлений сопротивления дымовой трубы. Сопротивление дымовой трубы при этом складывается из сопротивления трению $\Delta P_{\text{тр}}$ и сопротивления с выходной скоростью $\Delta P_{\text{вых}}$. Коэффициент сопротивления с выходом газов из трубы согласно существующим требованиям [5] принимается равным $\zeta_{\text{вых}} = 1$, как для свободного выхода потока из сети с равномерным полем скоростей на выходе. Однако анализ показывает, что в реальных условиях эксплуатации не только поле скоростей на выходе нельзя назвать равномерным, но и сам выход газов из трубы далеко не является свободным, прежде всего из-за влияния ветра.

Теория расчета строительных конструкций

Практически все существующие до последнего времени исследования в области аэродинамики газоотводящего тракта в части определения коэффициентов местного сопротивления, базировались только на результатах экспериментальных данных. Сейчас появилась возможность расширить область применения вычислительной гидродинамики на задачи, связанные с аэродинамикой газоотводящих трактов.

В проведенных нами численных исследованиях использовался вычислительный комплекс «FlowVision».

Для оценки влияния ветра на коэффициент сопротивления диффузора, установленного в верхней части дымовой трубы, в качестве расчетной модели был принят конический диффузор с диаметром на входе $d_1 = 1$ м, диаметром на выходе $d_2 = 1,56$ м, длиной $L_d = 2$ м, $L_d/d_1 = 2$, угол раскрытия $\alpha = 16^\circ$. Перед входом в диффузор смоделирован цилиндрический участок длиной 2 м. Диффузор помещен в призматическую область с размерами в плане 4×4 м, высотой 6 м, имитирующую часть атмосферы. Модель – «несжимаемая жидкость (газ)», плотность воздуха и газов приняты равными 1. Расчетная область была разбита на 14 524 расчетные ячейки. Скорость газов на входе в трубу принята равной 7 м/с, скорость ветра 0...20 м/с. В результате расчетов получены значения статических давлений на входе в диффузор (без учета самотяги) $p_{ст0}$. Полный коэффициент сопротивления диффузора (коэффициент сопротивления с выходом трубы с диффузором) равен $\zeta_{полн} = 1 - p_{ст0}/p_{до}$, где $p_{до}$ – динамический напор на входе в диффузор. Результаты расчетов приведены на рис. 1.

Коэффициент сопротивления диффузора при скорости ветра 0 м/с (свободный выход струи) получился равным $\zeta = 0,24$ и хорошо согласуется с данными ($\zeta = 0,27$), полученными И.Е. Идельчиком [3, 4], что позволяет судить о достоверности модели.

Из графика на рис. 1 видно, что вначале при росте скорости ветра от 0 до 14 м/с коэффициент сопротивления диффузора увеличивается, что очевидно связано со сжатием выходящей струи ветром. Затем с дальнейшим повышением скорости ветра коэффициент сопротивления диффузора снижается, очевидно, за счет преобладающего проявления эжекторного эффекта и при скорости ветра выше 19 м/с становится даже меньше коэффициента сопротивления при выходе без ветра. Подобные явления, очевидно, будут наблюдаться и для труб без диффузора. Таким образом, воздействие ветра, которое для верхней части дымовых труб имеется практически всегда, влияет на коэффициент сопротивления с выходом из дымовой трубы, и этот фактор нужно учитывать.

Далее проведена оценка полного коэффициента сопротивления диффузора на выходе из трубы при коротких диффузорах с прямолинейной и криволинейной образующей поверхности. Для этого рассмотрена модель, отличающаяся от предыдущей тем, что за цилиндрическим участком следует короткий диффузор длиной L_d , диаметр на выходе тот же $d_2 = 1,56$ м. Результаты расчета и сравнения даны на рис. 2. Как видно из приведенных графиков, в диффузорах с криволинейной образующей при больших раскрытиях сопротивление меньше, чем с прямолинейной образующей и могут применяться гораздо большие по величине углы раскрытия и соответственно более короткие диффузоры. Преимущество криволинейных диффузоров именно в этой области.

Расчетная структура потоков газа в диффузоре и выхода газов из него с учетом обтекания ветром приведена на рис. 3 и 4, из которых видно преимущество криволинейных диффузоров по меньшему отрыву потока от стенок, так и по меньшему самоокутыванию.

Материалоемкость диффузоров

Из анализа рис. 2 следует, что при одинаковом малом сопротивлении (0,3) диффузор с криволи-



Рис. 1. Изменение коэффициента сопротивления диффузора на выходе из дымовой трубы при $L_d/d_1 = 2$, угле раскрытия $\alpha = 16^\circ$ и скорости газов на входе 7 м/с

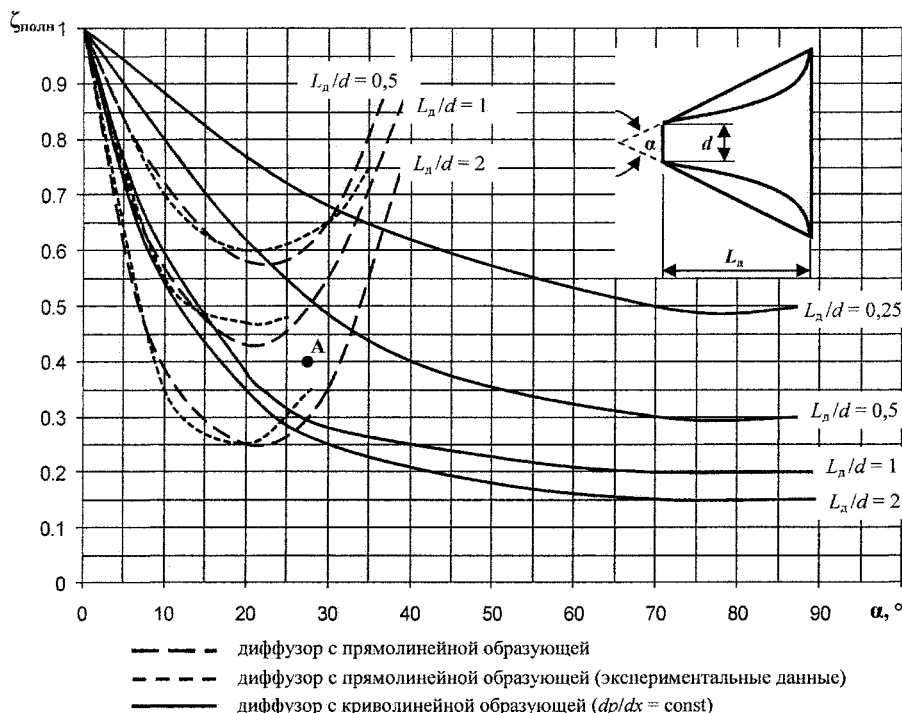
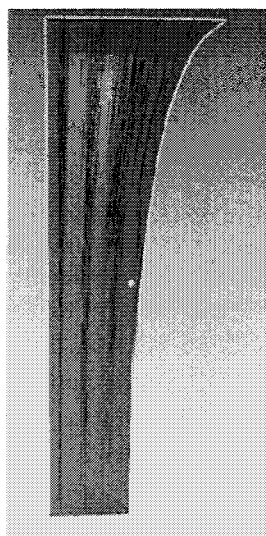


Рис. 2. Значения коэффициентов сопротивления $\zeta_{полн}$ диффузоров круглого сечения с прямолинейной и криволинейной образующей, установленных на выходе из трубы, в зависимости от угла раскрытия (α) и относительной длины (L_n/d)



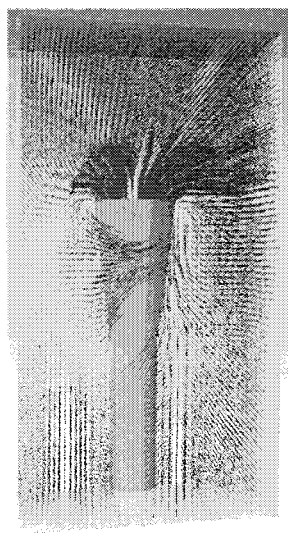
а)



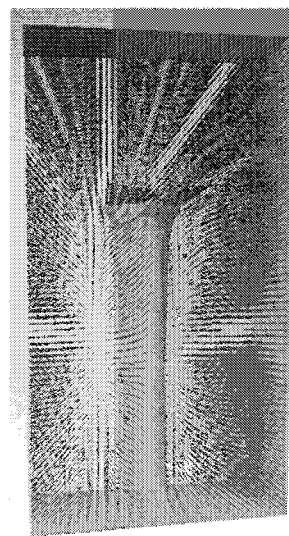
б)

Рис. 3. Структура потока в диффузорах: а – в традиционном диффузоре с значительным углом раскрытия происходит отрыв потока от стенок, что ведет к повышению аэродинамического сопротивления; б – в криволинейном диффузоре отрыв потока не происходит

нейной образующей в 2 раза короче диффузора с прямолинейной образующей, значит и площадь его будет примерно в 2 раза меньше. При этом надо иметь в виду, в первом случае мы имеем оболочку двойной кривизны, устойчивость которой может быть обеспечена при меньшей толщине, чем у оболочки одинарной кривизны в случае диффузора с прямолинейной образующей. В итоге затраты материала на диффузор с криволинейной образующей



а)



б)

Рис. 4. Выход газов из диффузора с учетом обтекания ветром: а – в традиционном диффузоре происходит самоуктывание газами; б – в криволинейном диффузоре самоуктывание не происходит

более чем в 2 раза ниже, чем на диффузор такого же сопротивления с прямолинейной образующей. Эти соображения справедливы для случая реконструкции дымовых труб, заключающейся в установке диффузора, то есть когда не ставится задача достижения определенной отметки устья трубы.

Для случая нового строительства эффект будет меньше, так как для достижения отметки устья добавляется прямой участок трубы с диаметром

Теория расчета строительных конструкций

как на входе диффузора. По предварительным оценкам, снижение материалоемкости верхней части трубы за счет применения диффузора с криволинейной образующей, по сравнению с прямой, составит в этом случае 20...30 %.

О технологичности изготовления диффузоров с криволинейной образующей

При изготовлении диффузоров из металла образование оболочки двойкой кривизны в случае диффузора с криволинейной образующей значительно усложняет технологию вальцовки, поэтому из металла делают диффузоры с прямолинейной образующей. Стеклопластик позволяет без дополнительных затрат изготавливать элементы любой формы, так как она зависит только от формы оправки и технология изготовления стеклопластиковых криволинейных и прямолинейных диффузоров практически одинакова. При габаритных для перевозки размерах для изготовления может быть применена намотка, предпочтительнее одновременное изготовление двух диффузоров, сочлененных по большему диаметру, с последующей их разрезкой. негабаритные диффузоры собираются из габаритных элементов, чаще всего на продольных фланцах. Технология формования стеклопластиковых элементов в этом случае (контактным способом или напылением) при криволинейной и прямолинейной форме образующей ничем не отличается.

Реализация материалов исследований

Материалы проведенных нами исследований использованы при проектировании, изготовлении и возведении ряда дымовых труб со стеклопластиковыми диффузорами, предпочтение по техническим и экономическим показателям отдано диффузорам с криволинейной образующей.

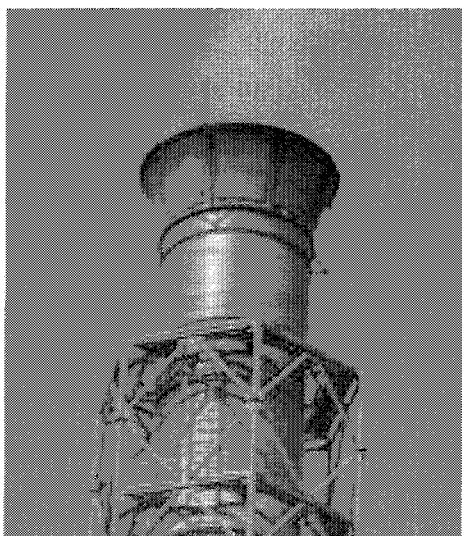


Рис. 5. Верхняя часть дымовой трубы диаметром 3,6 м со стеклопластиковым диффузором на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

На рис. 5 показана верхняя часть дымовой трубы со стеклопластиковым диффузором в виде оболочки вращения с криволинейной образующей на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» ($d_1 = 3,6$ м, $d_2 = 4,6$ м, $\alpha = 26^\circ$, $L_d/d = 0,7$). Соответствующая этим параметрам характеристика диффузора показана точкой «А» на рис. 2.

Выводы

1. Проведенный анализ показал, что общие закономерности влияния формы образующей диффузора при его работе в сети могут быть применены и при оценке работы диффузоров на выходе из дымовой трубы.

2. Численные исследования показали влияние ветра на коэффициент сопротивления с выходом дымовой трубы, что особенно актуально для труб с диффузором.

3. Результаты расчета и сравнения показали, что для дымовых труб в диффузорах с криволинейной образующей при больших раскрытиях сопротивление меньше, чем с прямолинейной образующей, соответственно и длина диффузора в первом случае может быть меньше без ухудшения аэродинамических характеристик.

4. Численный анализ спектра потоков показал, что при криволинейной образующей диффузора в отличие от прямолинейной не происходит отрыва внутреннего потока от стенок и меньше проявляется эффект самоокутывания дымовыми газами верхней части трубы.

5. Стеклопластиковые диффузоры с криволинейной образующей поверхности по техническим и экономическим показателям лучше, чем с прямолинейной образующей.

Литература

1. Свидетельство на ПМ 29322 РФ, МПК-7 Е 04 Н 12/28. Ствол дымовой трубы / В.М. Ас-ташкин, О.Е. Михайлова, В.А. Пазуцан, Е.В. Суботин; опубл. 10.05.2003, Бюлл. № 13.
2. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.
3. Идельчик, И.Е. Аэродинамика потока и потери напора в диффузоре // Промышленная аэродинамика. – М.: МАП, 1947. – Вып. 3. – С. 132–209.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
5. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод) / под ред. С.И. Мочана. – 3-е изд. – Л.: Энергия, 1977. – 256 с.

Поступила в редакцию 18 мая 2010 г.

О ВЛИЯНИИ СЦЕПЛЕНИЯ БЕТОНА НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СЖАТЫХ УСИЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.В. Теряник, А.О. Борисов

ABOUT THE INFLUENCE OF THE CONCRETE BOND ON THE STRENGTH AND DEFORMABILITY OF REINFORCED COMPRESSION ELEMENTS

V.V. Teryanik, A.O. Borisov

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния сцепления бетона на прочность и деформативность сжатых усиленных элементов при осевом сжатии. Даны рекомендации по практическому применению.

Ключевые слова: усиление, железобетонная обойма, прочность, деформативность, статическое нагружение, эффект обоймы, адгезионная обмазка.

The article presents the results of experimental investigations of the influence of the concrete bond on the strength and deformability of reinforced compression elements during the axial compression. The recommendations on the practical application are given.

Keywords: reinforcement, reinforced concrete fixture, strength, deformability, static load application, fixture effect, adhesive coating.

Железобетонные обоймы являются достаточно известным конструктивным решением усиления строительных конструкций [1, 2, 4]. При устройстве обойм в основном используется традиционный способ обработки поверхности, а именно поверхность бетона усиливаемого элемента обеспыливается, обрабатывается стальными щетками и промывается водой за 1–1,5 часа до бетонирования [5]. Однако, наряду с этим, известны способы обеспечения надежного сцепления бетона обоймы с усиливаемым элементом, за счет применения адгезионной обмазки [3–5]. Применение адгезионной обмазки позволяет обеспечить надежное сцепление «старого» и «нового» бетонов. Несмотря на разнообразие способов усиления, методы расчета усиленных конструкций несовершенны. Экспериментальных исследований для выработки более точных методов расчета недостаточно.

С этой целью в развитие работ [3, 5] проведены экспериментальные исследования по изучению влияния сцепления бетона на прочность и деформативность усиленных железобетонных колонн при осевом сжатии на статическое нагружение. Объектом исследования выбраны образцы колонн сечением 80×160 мм, длиной 900 мм ($\lambda = 39$) из бетона В22,5 состава 1:1,92:3,72 при водоцементном отношении 0,58 с использованием добавки СП-3 (суперпластификатор С-3), осадка конуса – 10–15 мм. Контроль прочностных характеристик бетона осуществлялся испытанием бетонных кубиков 150×150×150 мм – 5 образцов по истечении 28 суток. Армирование элементов: продольная ар-

матура 4 стержня диаметром 6 мм А400 (А-III), поперечное армирование выполнено в виде замкнутых хомутов из арматуры диаметром 4 мм В500 (Вр-I) с шагом 120 мм. Образцы прямоугольного сечения с симметричным армированием изготовлены на заводе ЖБИ г. Тольятти (на местных материалах). Хранение образцов до возраста 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях. После набора прочности образцы усиливались железобетонной обоймой.

Железобетонная обойма выполнена из бетона В22,5 состава 1:1,92:3,72 при водоцементном отношении 0,58. Толщина обоймы для всех усиливаемых элементов принята 40 мм, длина – 600 мм. Армирование обоймы: продольная арматура – 4 стержня диаметром 6 мм А400 (А-III), поперечное армирование выполнено в виде замкнутых хомутов из арматуры диаметром 4 мм В500 (Вр-I) с шагом 60 мм. Для обеспечения надежного сцепления старого и нового бетона, поверхность бетона усиливаемого элемента обрабатывалась двумя способами. Первый способ – традиционный. Второй способ – на необработанную поверхность бетона усиливаемого элемента наносилась адгезионная обмазка. В качестве адгезионной обмазки использовался клей марки ЭДП состава: эпоксидная смола ЭД-20 – 100 частей по массе (ч.м.), отвердитель – полиэтиленполиамин – 10–12 ч.м., поверхностно-активное вещество ОП-7 – 2 ч.м.

Перед бетонированием каркасов на арматурные стержни образцов, которые имели горизонтальные площадки шириной 5 мм в пределах шага

Теория расчета строительных конструкций

поперечных стержней, были наклеены на клей БФ-19 тензорезисторы 2ПКБ-20-200Б. Тензорезисторы после присоединения выводных проводов покрывались защитным слоем в виде гидроизоляции, приготовленной на основе эпоксидного клея, и производилась заливка бетона. Расположение тензорезисторов производилось по схеме: продольная арматура усиливаемых образцов и поперечные стержни железобетонной обоймы. Регистрация деформаций производилась на приборе ИДЦ-1. Статические испытания проводились на прессе П-250. Нагрузка прикладывалась ступенями, равными 10 % разрушающей, и к концу испытаний ступени уменьшались вдвое. Каждая ступень нагружения выдерживалась в течение 5–10 мин. Образец доводился до полного разрушения.

Проведенные испытания показали, что неусиленные элементы (ЭО) разрушались с образованием продольных трещин. Этот процесс заканчивался отслоением защитного слоя бетона.

Разрушение экспериментальных образцов, усиленных железобетонными обоймами с традиционным способом обработки поверхности (ЭОУ-1) и с использованием клея (ЭОУ-2) начиналось с появления вертикальных микротрещин в обойме (рис. 1). Разрушение в обойме происходило с отрывом поперечных стержней. На участках наибольшего разрушения, у образцов (ЭОУ-1) заметного отслоения бетона обоймы от бетона образца не обнаружено, а у образцов (ЭОУ-2) замечено локальное отслоение бетона обоймы от бетона образца,

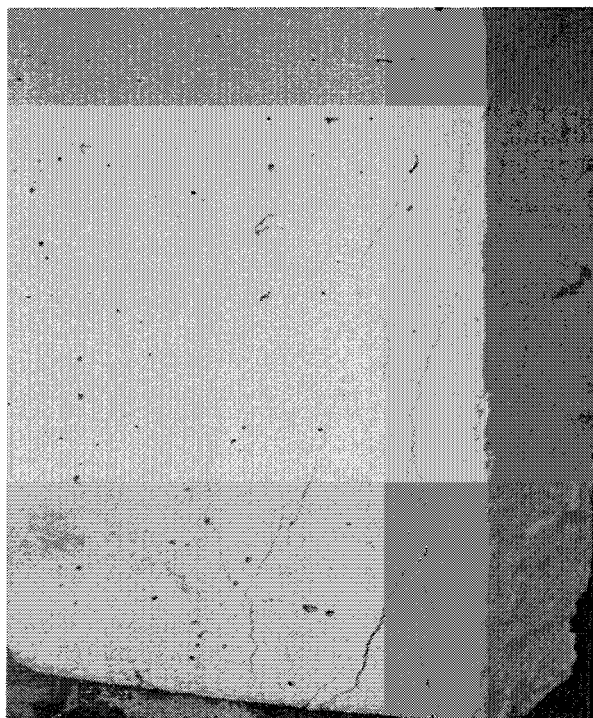


Рис. 1. Общий вид разрушения обоймы

но это существенно не повлияло на работу всей конструкции. Конструкция работала как единое целое (рис. 2). Отмечено, что обойма довольно быстро включается в работу (рис. 5). Предельное значение разрушающей нагрузки для образцов серии (ЭОУ-1) составило в среднем 250 кН, а для образцов серии (ЭОУ-2) предельная нагрузка в среднем достигла 272 кН (рис. 3). Отмечено увеличение несущей способности усиленных элементов за счет эффекта обоймы, которое составило: для образцов (ЭОУ-1) в среднем 32 %, а для образцов (ЭОУ-2) в среднем – 43 %. Применение адгезионной обмазки, по сравнению с традиционным способом обработки поверхности, позволило увеличить несущую способность усиливаемого элемента в среднем на 11 %.

Следует отметить, что относительные деформации продольной арматуры усиливаемого образца с традиционным способом обработки поверхности (ЭОУ-1) выше, чем относительные продольные деформации у образцов с использованием клея (ЭОУ-2) и составили соответственно $213 \cdot 10^{-5}$ и $198 \cdot 10^{-5}$ (см. рис. 3). Поперечные деформации в обойме у элементов (ЭОУ-1) ниже чем у образцов (ЭОУ-2) и достигли в среднем $49 \cdot 10^{-5}$ и $72 \cdot 10^{-5}$ соответственно (рис. 4). Имеющиеся различия деформаций в обоймах и усиливаемых элементах свидетельствуют о незначительном проскальзывании обоймы у образцов (ЭОУ-1), а у образцов (ЭОУ-2) этого не наблюдается, обойма работает с усиливаемым элементом как единое целое (рис. 5).

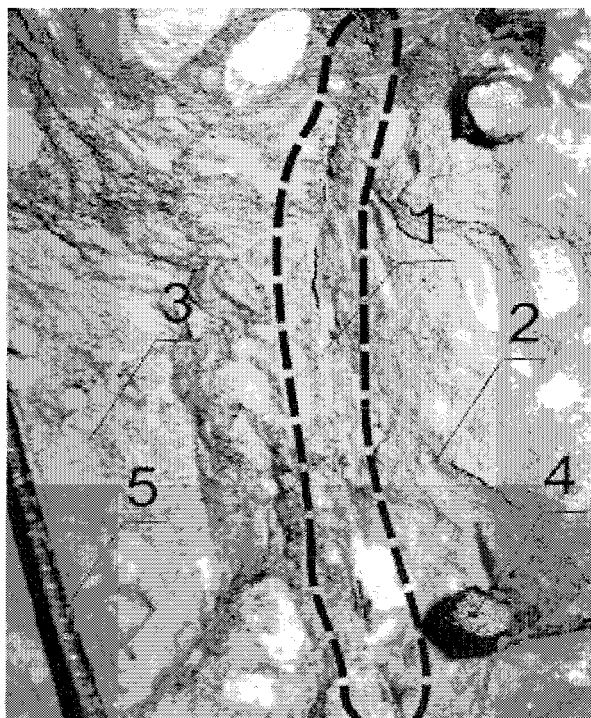


Рис. 2. Характер разрушения на стыке обоймы с элементом (вид сверху): 1 – стык обоймы с элементом усиления; 2 – усиливаемый элемент; 3 – обойма; 4 – продольная арматура усиливаемого элемента; 5 – поперечная арматура обоймы

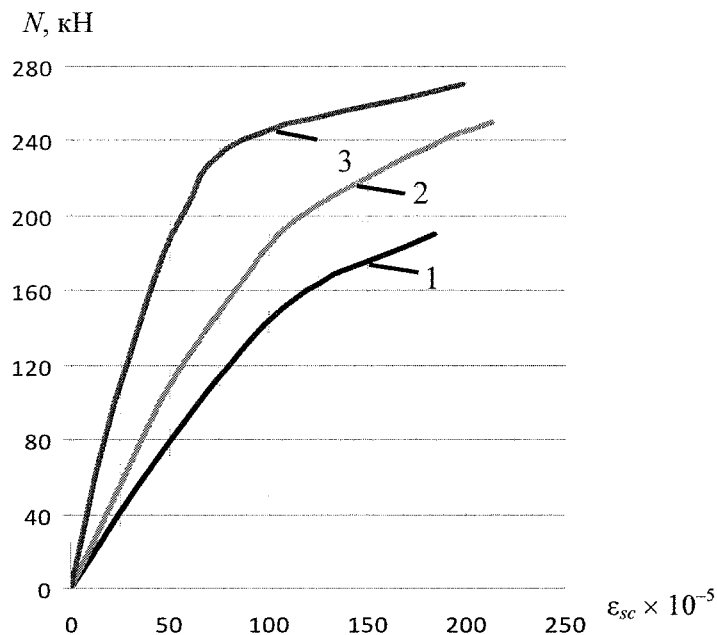


Рис. 3. Зависимость $N - \epsilon_{sc}$ для элементов: 1 – ЭО; 2 – ЭОУ-1; 3 – ЭОУ-2

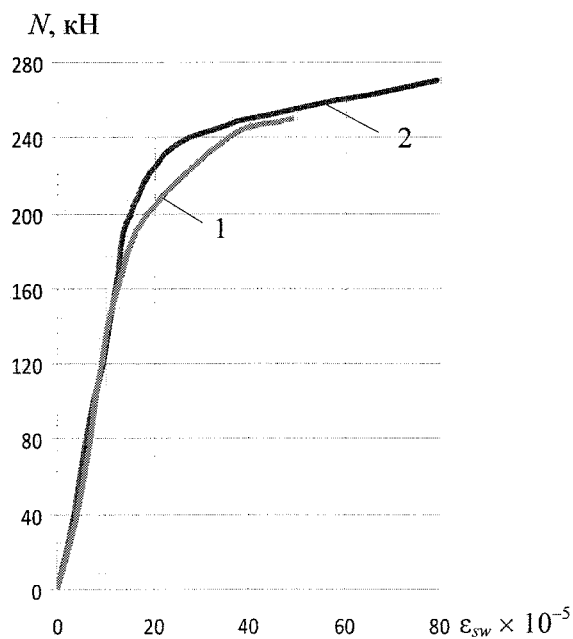


Рис. 4. Зависимость $N - \epsilon_{sw}$ для элементов: 1 – ЭОУ-1; 2 – ЭОУ-2

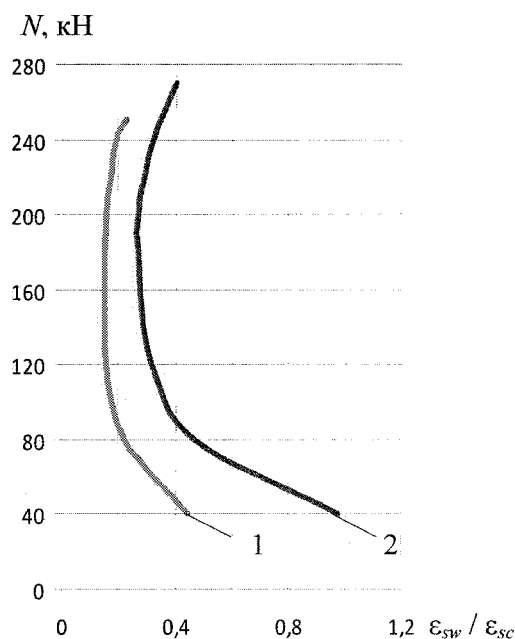


Рис. 5. Зависимость $N - \epsilon_{sw} / \epsilon_{sc}$ для элементов: 1 – ЭОУ-1; 2 – ЭОУ-2

Полученные результаты сопоставляли с экспериментальными данными, приведенными в работе [5]. Данные эксперимента представлены в таблице. Сравнительный анализ показывает, что у образцов серий ЭОУ-1, ЭОУ-2 происходит некоторое снижение фактической прочности усиленных элементов по сравнению с теоретической. Можно предположить, что снижение несущей способности является следствием застывания укладываемого бетона на поперечных стержнях обоймы. Адгезионная обмазка позволяет включать в работу обойму на более ранней стадии нагружения.

Предлагается расчет сжатых усиленных желе-

зобетонных элементов производить с учетом работы [5], с некоторыми уточнениями:

$$N \leq \varphi \gamma_c \left\{ \left[R_{b1} + m_1 m_s^k K_1 \sigma_o \right] A_{b1} + R_{sc} A_s + \gamma_{wb} \left(R_{b2} + m_2 m_s^k K_2 \sigma_o \right) A_{bef} + R_{sc} A_{s,об} \right\}, \quad (1)$$

где R_{b1} , R_{b2} – расчетное сопротивление бетона сжатию соответственно усиливаемой конструкции и обоймы; K_1 , K_2 – коэффициент эффективности бокового обжатия; A_{b1} – площадь поперечного сечения усиливаемого элемента; A_{bef} – площадь сечения бетона обоймы, заключенного внутри

Маркировка образца	Экспериментальное значение N_{obs} , кН	Теоретическое значение N_{th} , кН	N_{obs} / N_{th}	Эффект обоймы, %
ЭО	195	162	1,20	—
	165	157	1,05	
	210	166	1,27	
ЭОУ-1	255	296	0,86	32
	240	286	0,84	
	255	305	0,83	
ЭОУ-2	260	294	0,88	43
	255	284	0,90	
	300	303	0,99	

контура сеток; σ_0 – уровень бокового обжатия; A_s – площадь поперечного сечения арматуры усиливаемого элемента; $A_{s,об}$ – площадь поперечного сечения арматуры обоймы; φ – коэффициент продольного изгиба элемента; γ_{wb} – коэффициент условия работы обоймы; m_1 – коэффициент, учитывающий способ обработки поверхности усиливаемого элемента эпоксидным клеем; m_2 – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности железобетонных обойм; m_s^k – коэффициент, учитывающий изгиб поперечных стержней обоймы.

$$m_s^k = \frac{\Delta k - 5d}{\Delta k}, \quad (2)$$

где Δk – размер ядра сечения бетона обоймы, заключенного внутри контура сеток; d – диаметр поперечной арматуры.

Выводы. Проведенные исследования подтвердили ранее полученные экспериментальные данные об увеличении несущей способности сжатых элементов за счет эффекта обоймы. Применение адгезионной обмазки существенно не влияет на несущую способность усиливаемого элемента, но при этом продольные деформации усиливаемых элементов с обработкой их адгезионной обмазкой эпоксидным клеем уменьшаются на 8 % по отношению к усиленным элементам без нее. Рекомендуется использовать условие прочности (1) при

определении несущей способности сжатых элементов, усиленных железобетонной обоймой при различном способе обработки поверхности усиливаемого элемента. Железобетонные обоймы можно рекомендовать для усиления сжатых железобетонных колонн на всю высоту при увеличении эксплуатационных нагрузок, а также при местном усилении (ярко выраженные дефекты).

Литература

1. Гроздов, В.Т. О прочности и деформативности колонн, усиленных обоймами / В.Т. Гроздов, В.В. Теряник // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 3. – С. 8–11.
2. Усиление колонн реконструируемых зданий железобетонными обоймами / Е.А. Рабинович и др. // Бетон и железобетон. – 1987. – № 4. – С. 14.
3. Рекомендации по восстановлению и усилению сборных зданий и сооружений полимеррастворами // ТбилЗНИИЭП Госкомархитектуры. – М.: Стройиздат, 1990. – 160 с.
4. Теряник, В.В. Прочность, устойчивость и деформативность железобетонных колонн, усиленных обоймами / В.В. Теряник. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 2004. – 188 с.: ил.
5. Теряник, В.В. О влиянии сцепления бетона на прочность усиленных обоймами железобетонных элементов / В.В. Теряник, А.Е. Ткаченко // Изв. вузов. Строительство. – 2001. – № 12. – С. 105–107.

Поступила в редакцию 26 января 2010 г.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА НАГРУЗКИ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ

Лян Эрго, Ли Цзыфэн, Чэнь Хунбин

MECHANICAL EFFECT OF CREEP FORMATION ON OIL WELL CASING

Liang Erguo, Li Zifeng, Chen Hongbing

Согласно практическому строительству скважин и механическим основам, создана правильная механическая модель взаимодействия между обсадной колонной и стратиграфической ползучестью. При отсутствии стратиграфической ползучести напряжение в грунте не действует на ОК; при наличии напряжений в грунте и долгого действия внешняя нагрузка на ОК в самом деле представляет собой давление перекрывающего отложения.

Ключевые слова: ползучесть, обсадная колонна (ОК), внешняя нагрузка, механическая модель.

Based on the well construction procedure and mechanics principle, a correct interaction model between creep formation and casing was established. If the formation is rigid or elastic, earth stresses can not exert on the casing. If the formation is of creep property, the external pressure on the casing will be the overburden pressure after a long time.

Keywords: casing, formation creep, load, mechanics model.

Введение

В процессе разработки нефтегазовых месторождений через некоторое время большая часть обсадной колонны (трубы) в разной степени ломается, что приводит к снижению дебита скважин, даже к их ликвидации. Одной из многих причин, вызывающих повреждение ОК, является постоянно повышающаяся внешняя нагрузка на ОК, которая вызывается сужением стволов скважин в связи со стратиграфической ползучестью. В этом случае нагрузка на ОК гораздо больше, чем во время заполнения скважин. Поэтому создание правильной механической модели взаимодействия между ОК и горными породами в условиях ползучести имеет чрезвычайно важное значение для анализа нагрузки на ОК.

Многие ученые уже провели исследования влияния напряжений в грунте, но в созданных ими механических моделях существуют теоретические ошибки. В работах [1–9] считается, что практическая механическая модель получается в условиях бурения, спуска ОК и цементирования без действия напряжений в грунте, а после выполнения вышеуказанных операций снова добавляются напряжения в грунте. Авторы статьи на основе практического стратиграфического положения и механического принципа создали механическую модель взаимодействия между ОК и горными породами, т. е. данная механическая модель получается в условиях бурения, спуска ОК и цементирования с действием напряжений в грунте.

Нагрузка ползучести на обсадную колонну

Ползучесть горных пород является макроскопическим выражением их реологических свойств. Ползучесть горных пород – это свойство [10], которое заключается в следующем: под непрерывным действием постоянного напряжения в грунте деформация горных пород увеличивается с течением времени. Такая деформация ограничивается обсадной колонной и затрубным цементным кольцом, она оказывает непрерывно увеличивающиеся дополнительные внешние нагрузки на ОК. Данная нагрузка называется нагрузкой ползучести обсадной колонны. Спустя определенное время внешняя нагрузка становится стабильной. Внешняя нагрузка на ОК создаётся ползучестью в результате действия напряжения в глинистом грунте, поэтому величина напряжения в грунте обязательно оказывает влияние на внешнюю нагрузку на ОК. Внешняя нагрузка ползучести горных пород на ОК увеличивает деформацию ОК. Когда напряжение в грунте увеличивается до такой степени, что нагрузка ползучести горных пород на ОК превысит ее прочность, у ОК возникнет текучесть и деформация непрерывно увеличивается вплоть до ее разрушения.

Обычно процесс ползучести горных пород разделяется на три этапа: этап первоначальной ползучести с постепенно уменьшающимся темпом деформации, этап стабильной ползучести с неизменным темпом деформации, а также этап ускоренной ползучести с быстро увеличиваю-

Теория расчета строительных конструкций

шимся темпом деформации. Из-за того, что подземные породы находятся в трехосном напряженном состоянии, кроме случаев, когда между горными породами происходит относительное скольжение, не будет создаваться ускоренная ползучесть. То есть ползучесть горных пород происходит только на первом и втором этапах. Такой эффект ползучести пород можно исследовать с помощью теории вязкоупругости.

Механическая модель взаимодействия между обсадной колонной и горными породами

Обсадная колонна, спущенная в открытый ствол скважин, воспринимает только собственный вес и нагрузку, созданную буровым раствором. Поэтому на протяжении многих лет в расчёте нагрузки на ОК гидростатическое давление в стволах скважин до цементирования подсчитывается как единственное внешнее вытесняющее давление. А после цементирования скважин напряжение в грунте на ОК различается по горным породам. В работах [1–9] при анализе напряжения в грунте все механические модели основаны на таких предположениях, что в пластах сохраняется природное напряженное состояние, в котором выполняется бурение, спуск ОК и цементирование (рис. 1, а). После вышеуказанных операций увеличивается напряжение в грунте. Под действием данного несимметричного напряжения в грунте σ_x и σ_y , сечение ОК становится овальным (рис. 1, б). В данной модели существует теоретическая ошибка.

Авторы статьи считают, что фактическая механическая модель должна основываться на таких условиях, что в пластах в первоначальном состоянии уже возникают напряжения в грунте (рис. 2, а). Для нерелеологического пласта в случае данной модели напряжение в грунте никогда не передается на ОК.

Как для первой механической модели, так и для второй при спуске ОК и после цементирования на ОК не действуют напряжения грунта. Данный метод годится только в условиях полных жестких пластов и без любого внешнего фактора силы.

При учете упругих пластов для первой механической модели (см. рис. 1), то есть предположе-

но, что после спуска ОК и цементирования прибавляется напряжение в грунте, тогда на ОК будут действовать напряжения грунта, и сечение ОК под действием этих напряжений будет становиться овальным. А на самом деле на ОК никогда не будет оказываться воздействие напряжения грунта в упругих пластах, и сечение ОК остается круглым (рис. 2, б).

Пласт, содержащий соляные породы, глинистые породы и сланцы, имеет свойство ползучести. Ползучесть пласта создает дополнительные нагрузки на ОК. Хотя с помощью любой вышеуказанной механической модели можно высчитать дополнительные нагрузки ползучести, но из-за теоретической ошибки механической модели, показанной на рис. 1, многие ученые, используя данную модель, получили ошибочные результаты в подсчете нагрузки ползучести.

В работах [2] и [3], используя механическую модель рис. 1, при достаточно большом времени в пластах ползучести получается внешняя нагрузка на ОК:

$$p = \lim_{t \rightarrow \infty} p(a, t) = \frac{2k(1-\mu)}{k+K} \sigma_{\infty}, \quad (1)$$

где p – внешняя нагрузка на ОК, МПа; a – внешний радиус ОК, м; t – время действия, с; k – жёсткость ОК, МПа/м; K – жёсткость пласта, МПа/м; μ – коэффициент Пуассона пласта; σ_{∞} – напряжения в грунте бесконечного массива грунта, МПа.

Можно сделать следующий вывод: как при условии равномерного напряжения в грунте, так и при условии неравномерного напряжения в грунте, после достаточно долгого времени нагрузка на ОК в пластах ползучести приближается к достижению полного упругого решения; можно прямо подсчитывать максимальную нагрузку на ОК по упругому варианту.

Согласно механической модели (рис. 2) и по соотношению между внешним вытесняющим давлением на ОК и достаточно большом времени в результате ползучести горных пород внешней нагрузкой на ОК является

$$p = \sigma_{\infty}. \quad (2)$$

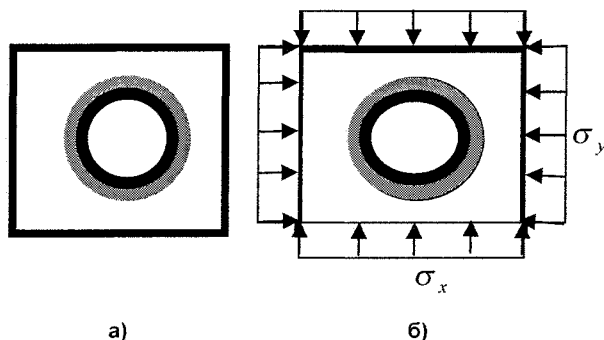


Рис. 1. Первая механическая модель нагрузки на ОК

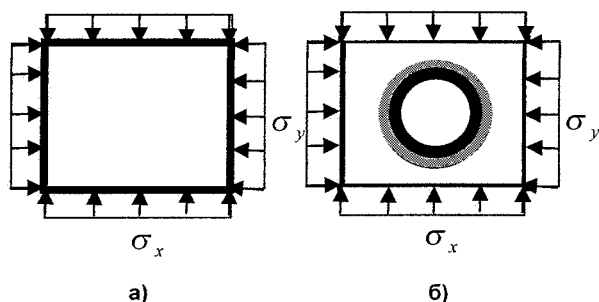


Рис. 2. Механическая модель фактической нагрузки на ОК (вторая модель)

Заключение

В данной статье, исходя из воздействия нагрузки ползучести горных пород на ОК, анализируются и обобщаются существующие модели взаимодействия между ОК и пластами, обнаруживаются их недостатки, создается механическая модель практического взаимодействия, и по этой модели теоретически решается нагрузка ползучести на ОК в пластах ползучести, что имеет определяющее значение в правильном анализе нагрузки на ОК, и в то же время в определенной степени имеет практическое значение для расчета прочности ОК и защиты ОК от повреждения.

Литература

1. Yin Youquan. *Theoretical solutions of stress distribution in casing-cement and stratum system* / Yin Youquan, Chen Chaowei, Li Pinggen // *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. – 2006. – Vol. 38. – P. 835–842.
2. *Study on casing loads in creep formations* / Yin Youquan, Li Zhiming, Zhang Guangqing et al. // *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. – 2004. – Vol. 23. – P. 2381–2384.
3. *Additional load of casing used in reep formation* / Li Zhiming, Zhang Yanfu, Wang Jiping et al. // *Oil Drilling & Production Technology*. – 1999. – Vol. 21. – P. 10–13.
4. *Back analysis of reservoir stress field with logging data of casing deformation* / Chen Zhaowei, Yin Youquan, Cai Yyongen et al. // *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. – 2007. – Vol. 26. – P. 734–739.
5. Li Pinggen. *Theorecal solution of casing loads in rheological formation in tectonic stress field* / Li Pinggen, Yin Youquan, Su Xianyue // *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*. – 2007. – Vol. 43. – P. 11–16.
6. *Theoretical solution of casing loading under non-uniform ground stress field* / Yin Youquan, Cai Yongen, Chen Zhaowei et al. // *Acta Petrolei Sinica*. – 2006. – Vol. 27. – P. 133–138.
7. Fang Jun. *Anumerical analysis of casing collapse under nonuniform load* / Fang Jun, Gu Yuhong, Mi Fengzhen // *China Petroleum Machinery*. – 1999. – Vol. 27. – P. 34–37.
8. *Analysis of loading property of casing and cement sheath under nonuniform geologic stress* / Fang Jun, Zhao Huaiwen, Yue Boqian et al. // *Journal of the University of Petroleum. China*. – 1995. – Vol. 19. – P. 52–57.
9. *Analysis of surface loading on casing and cement sheath under nonuniform geologic stress* / Fang Jun, Yue Boqian, Zhao Huaiwen et al. // *Journal of the University of Petroleum. China*. – 1997. – Vol. 21. – P. 46–48.
10. Wang Zhongmao. *The casing damage mechanisms and its control in oil and water wells*. Beijing. N.Y: Petroleum Industry Press, 1994.
11. Li Zifeng. *The mechanism of casing failure* / Li Zifeng, Yang Minjia, Li Bangda // *Oil Drilling & Production Technology*. – 1985. – Vol. 7. – P. 47–53.

Поступила в редакцию 20 марта 2010 г.

Технология и организация строительного производства

УДК 69.05(07)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА ВОЗВЕДЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

А.Х. Байбурин

RESEARCH OF TECHNOLOGY FACILITATION INFLUENCE ON THE QUALITY LEVEL OF CIVIL BUILDING

A.K. Baiburin

При помощи корреляционно-регрессионного анализа установлены зависимости между организационно-технологическими факторами и показателями качества возведения гражданских зданий. На этой основе предложен алгоритм разработки мероприятий, повышающих качество возводимых конструкций зданий.

Ключевые слова: технологический фактор, показатель качества, регрессионная модель.

Using the correlated regression analysis the rules of interdependence between organizational technology facilitation factors and quality coefficient of civil building were established. On this basis the algorithm of elaboration measures that upgrade the quality of buildings was offered.

Keywords: technology facilitation, quality index, regression model.

Разработка и реализация мероприятий, повышающих качество возводимых конструкций гражданских зданий, должны основываться на научно установленных и статистически значимых взаимосвязях организационно-технологических факторов с показателями качества. Причем сами факторы следует ранжировать по степени влияния на качество для выбора наиболее существенных. Кроме того, технологические факторы должны иметь количественное выражение и однозначно определяться в каждом конкретном случае.

Установление перечня факторов, наиболее существенно влияющих на качество строительства, осуществлялось методом двухтурового экспертного опроса. Для повышения согласованности экспертных оценок среди специалистов строительных организаций, проходивших обучение на лицензионных курсах повышения квалификации, были отобраны 63 эксперта с высшим образованием на руководящих должностях. Стаж работы экспертов в области строительства составлял от 5 до 36 лет, в среднем 18,5 лет.

На первом этапе экспертами был определен набор из 19 факторов, оказывающих влияние на качество строительства. На втором этапе экспертами производилось ранжирование факторов с выделением наиболее существенных. Согласованность мнений экспертов оценивалась по коэффициенту конкордации. При количестве признаков $n = 19$,

числе экспертов $m = 63$ и коэффициенте конкордации, равном 0,225 на уровне значимости 0,01 условие $m(n-1)W = 63(19-1)0,225 = 255,15 \geq \chi_{0,01(18)}^2 = 34,805$ выполняется, что свидетельствует о согласованности мнений экспертов с вероятностью не менее 0,99 и статистической значимости ранжировки факторов.

Наиболее высокие ранги получены для следующих технологических факторов, указанных в порядке убывания значимости: соблюдение технологии работ – T_p ; качество поставляемых материалов, изделий – K_m ; уровень квалификации рабочих и инженеров – Y_k ; комплектность и качество проектной документации – D_n ; полнота производственного контроля качества (входного, операционного, приемочного, лабораторного, геодезического) – $П_k$; комплектность и качество технологической документации – D_r ; обеспеченность механизмами, оснасткой и инструментом – $У_m$.

Факторы должны отвечать ряду условий квалиметрии: однозначность, количественность, приемлемая трудоемкость определения. Для вычисления каждого показателя предложены соответствующие выражения. Например, показатель соблюдения технологии работ

$$T_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{t_i}{t_{ni}} \right), \quad (1)$$

где t_i – количество нарушений технологии работ i -го вида; $t_{нi}$ – количество параметров и режимов технологии, проконтролированное при ведении работ i -го вида; n – количество видов работ.

Показатель уровня квалификации рабочих и инженерно-технических работников (ИТР) предлагается вычислять следующим образом:

$$Y_k = v_1 \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{p_{нi}} + v_2 \sum_{j=1}^k a_j, \quad (2)$$

где p_i – среднеарифметический разряд рабочих, фактически занятых на работах i -го вида; $p_{нi}$ – нормативный среднеарифметический разряд для выполнения i -го вида работ; n – количество видов работ; a_j – средний балл по аттестации ИТР; k – количество ИТР; v_1, v_2 – коэффициенты весомости.

Показатель полноты производственного контроля качества

$$\Pi_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{k_{нi}}, \quad (3)$$

где k_i – количество фактически проконтролированных параметров i -го вида работ; $k_{нi}$ – объемы контроля i -го вида работ по требованиям нормативно-технической документации; n – количество видов работ.

Для установления взаимосвязи между технологическими факторами и уровнем качества возведения объектов была исследована выборка из 30 гражданских зданий: по 10 панельных, кирпичных и монолитных. Уровень качества характеризовался показателем изменения несущей способности K_R основной несущей конструкции в результате допущенных дефектов, а также коэффициентом вариации несущей способности $V(R)$. Указанные показатели рассматривались в качестве откликов. Для панельных зданий исследовалось влияние факторов на прочность платформенных стыков. В кирпичных зданиях в качестве основных несущих конструкций рассматривались кирпичные стены и столбы, в монолитных – монолитные колонны и стены.

Условием применения в корреляционно-регрессионном анализе уравнений линейного вида является нормальное распределение влияющих факторов и отклика. Использование методов ли-

нейной регрессии оправдано закономерностями изучаемых явлений, имеющих теоретический смысл и практическое подтверждение. Оценка нормальности распределения показателей факторов производилась по асимметрии (мере скошенности) и эксцессу (мере островершинности), а также их стандартным ошибкам. Установлено, что значения асимметрии и эксцесса лежат в пределах своих двукратных стандартных ошибок, что дает основание предполагать нормальность изучаемых распределений [1]. Результаты оценки аппроксимации статистическими критериями Колмогорова и Пирсона также подтвердили гипотезу о нормальности распределений.

В результате количественной оценки тесноты связи между технологическими факторами и уровнем качества возведенных конструкций были получены коэффициенты парной корреляции (см. таблицу).

Анализ установленных коэффициентов корреляции показал:

1) с увеличением численных значений показателей технологических факторов увеличивается относительный показатель несущей способности возводимых конструкций K_R и снижается вариация прочности $V(R)$;

2) для показателей комплектности и качества проектной $D_{п}$ и технологической документации $D_{т}$ наличие связи с результирующими признаками не выявлено;

3) для остальных рассматриваемых факторов наблюдается статистически значимая на уровне 0,05 парная корреляция с показателями качества.

При дальнейшем анализе закономерностей влияния технологических факторов на уровень качества были рассчитаны параметры уравнений регрессии различных видов. Осуществлялась проверка значимости параметров уравнения каждого вида по критерию Стьюдента, а также значимость регрессии в целом по критерию Фишера на уровне 0,05.

Анализ результатов аппроксимаций выявил наибольшую значимость критериальных оценок параметров уравнения и регрессии в целом для прямолинейной регрессии вида $y = a_0 + a_1x$. Для изучаемых закономерностей влияния технологических факторов на показатели качества были получены следующие значимые уравнения регрессии:

Коэффициенты парной корреляции

Показатели качества	Показатели технологических факторов						
	T_p	Π_k	K_m	Y_k	$D_{п}$	$D_{т}$	Y_m
K_R	0,790	0,800	0,844	0,790	0,018*	0,207*	0,808
$V(R)$	-0,842	-0,857	-0,896	-0,745	-0,127*	-0,297*	-0,785

Примечание. Звездочкой обозначены статистически незначимые на уровне 0,05 коэффициенты корреляции.

$$\begin{aligned}
 K_R &= -0,4954 + 2,0210 T_p, \\
 V(R) &= 0,6533 - 0,6470 T_p; \\
 K_R &= -0,4034 + 1,8266 \Pi_k, \\
 V(R) &= 0,6268 - 0,5888 \Pi_k; \\
 K_R &= -0,0594 + 1,6582 K_m, \\
 V(R) &= 0,5149 - 0,5328 K_m; \\
 K_R &= -0,4145 + 1,6118 Y_k, \\
 V(R) &= 0,6257 - 0,5140 Y_k; \\
 K_R &= -0,3468 + 1,4811 Y_m, \\
 V(R) &= 0,5703 - 0,4334 Y_m.
 \end{aligned} \tag{4}$$

По каждому уравнению регрессии рассчитывались значения стандартного отклонения, стандартная ошибка, значение F -критерия и уровень значимости. Установлено, что найденные регрессионные модели надежно и адекватно описывают наблюдаемые закономерности, ошибка аппроксимации составляет 3–10 %.

Вместе с тем окончательный вывод о достоверности изучаемых взаимосвязей можно сделать только при анализе множественной корреляции и регрессии, так как анализ парной корреляции исходит из допущения элиминирования (исключения) влияния всех остальных рассматриваемых факторов, что может исказить результаты парных зависимостей [2].

На первом этапе регрессионного анализа в модель множественной регрессии включались все факториальные признаки. Последующий анализ проводился методом пошаговой регрессии. При этом малосущественные факторы последовательно исключались из модели. В результате были получены окончательные линейные модели, включающие только значимые факторы:

$$\begin{aligned}
 K_R &= -0,5786 + 0,5531 T_p + 0,5077 \Pi_k + \\
 &+ 0,4661 K_m + 0,2326 Y_k + 0,3171 Y_m; \tag{5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V(R) &= 0,6416 - 0,1820 T_p - 0,2365 \Pi_k - \\
 &- 0,2398 K_m. \tag{6}
 \end{aligned}$$

Проверка корректности частных эффектов по t -критерию дала положительные результаты. Адекватность моделей в целом была подтверждена критерием Фишера. При этом коэффициент множественной корреляции $R = 0,925-0,979$ свидетельствует о существенной связи переменных в уравнениях. Коэффициент детерминации $D = 0,839-0,95$ показывает, что до 84–95 % разброса отклика объясняется вариацией влияющих факторов.

Исследования остатков в виде разности между наблюдаемыми и предсказанными значениями отклика подтвердили вывод об адекватности полученных моделей. По диаграмме разброса, гистограмме и графику остатков на нормальной вероятностной бумаге установлено, что значения остатков случайны, независимы от значений отклика и распределены нормально. Таким образом, полученные

модели регрессии с высокой значимостью и надежностью описывают исследуемые закономерности в пределах исследованной выборки объектов.

Удельный вес каждого фактора, входящего в полученные уравнения множественной регрессии, определялся по значению коэффициента эластичности:

$$E_i = a_i \bar{x}_i / \bar{y}, \tag{7}$$

где a_i – коэффициент регрессии при i -м факториальном признаке; \bar{x}_i – среднее значение i -го факториального признака; \bar{y} – среднее значение отклика.

Установлено, что наибольшее влияние на показатель изменения прочности K_R возводимых конструкций оказывают факторы соблюдения технологии работ ($E_1 = 0,418$), полноты производственного контроля качества ($E_2 = 0,397$) и качества поставляемых материалов, изделий ($E_3 = 0,299$), а на показатель изменчивости прочности $V(R)$ – полноты производственного контроля качества ($E_2 = 0,903$) и качества поставляемых материалов, изделий ($E_3 = 0,751$).

При наличии двух моделей множественной регрессии, описывающих взаимосвязи технологических факторов с показателями качества, появляется возможность управления качеством возведения зданий через зависимость, полученную из условия обеспеченности показателя несущей способности конструкции. Так для каменных конструкций из условия нормативной обеспеченности прочности на сжатие было получено [3]

$$u = \frac{\bar{K}_R^\Phi - K_R^{\text{lim}}}{V(R) \cdot K_R^\Phi} = 3,33. \tag{8}$$

Здесь аргумент функции стандартного нормального распределения $\Phi(u)$ задан из условия нормального распределения значений K_R и нормативной обеспеченности его значения 0,9996. Подставив в (8) вместо статистических показателей их регрессионные модели (5) и (6), получим

$$\begin{aligned}
 u &= \left[-0,5786 + 0,5531 T_p + 0,5077 \Pi_k + \right. \\
 &+ 0,4661 K_m + 0,2326 Y_k + 0,3171 Y_m - \\
 &\left. - K_R^{\text{lim}} \right] : \left[(0,6416 - 0,1820 T_p - 0,2365 \Pi_k - \right. \\
 &\left. - 0,2398 K_m)(-0,5786 + 0,5531 T_p + 0,5077 \Pi_k + \right. \\
 &\left. + 0,4661 K_m + 0,2326 Y_k + 0,3171 Y_m) \right]. \tag{9}
 \end{aligned}$$

Влияние каждого фактора в выражении (9) оценивалось вычислением приращения результирующего значения u при равных незначительных приращениях каждого из факторов при средних значениях остальных факторов. Установлена следующая приоритетность технологических факторов по степени их совокупного влияния на уровень качества возведения зданий: полнота производст-



Блок-схема алгоритма оценки качества и принятия решений по обеспечению качества возводимых конструкций гражданских зданий

венного контроля качества (входного, операционного, приемочного, лабораторного, геодезического); соблюдение технологии работ; качество поставляемых материалов, изделий; обеспеченность механизмами, оснасткой и инструментом; уровень квалификации рабочих и ИТР.

При разработке перечня мероприятий, повышающих качество возводимых конструкций гражданских зданий, кроме коэффициентов значимости факторов учитывались их резервные значения $\Delta x_i = 1 - x_i$. Резервы для каждого из вышеперечисленных факторов соответственно равны: 0,289, 0,263, 0,396, 0,158 и 0,13. Чем больше значение

резерва и выше приоритет фактора, тем значимее мероприятия, направленные на повышение соответствующего показателя фактора.

Блок-схема алгоритма реализации мероприятий по обеспечению качества возведения несущих конструкций гражданских зданий с учетом технологических факторов, представлена на рисунке.

На основе полученных результатов был разработан перечень возможных мероприятий, повышающих численные значения показателей технологических факторов. Из полного перечня в каждом конкретном случае следует использовать мероприятия, которые направлены на повышение

Технология и организация строительного производства

численных значений показателей технологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество возведения зданий.

Таким образом, методом экспертного опроса были выявлены наиболее значимые технологические факторы, существенно влияющие на качество работ: соблюдение технологии работ; качество поставляемых материалов, изделий; уровень квалификации рабочих и инженеров; уровень производственного контроля качества; обеспеченность механизмами, оснасткой и инструментом.

Для количественной оценки указанных факторов предложены показатели, характеризующие степень соответствия факторов установленному уровню. В исследованной выборке из 30 зданий определены показатели, характеризующие уровень факторов, а также показатели качества в виде снижения несущей способности основной несущей конструкции при допущенных дефектах и коэффициента вариации несущей способности.

При помощи корреляционно-регрессионного анализа установлены связи между технологическими факторами и указанными показателями качества возведения зданий. Разработан алгоритм реализации мероприятий по обеспечению качества возведения несущих конструкций гражданских зданий с учетом технологических факторов. Резуль-

таты моделирования могут быть использованы для повышения организационно-технологической надежности строительных работ по параметрам качества изготавливаемой продукции.

В результате внедрения разработанных методов при возведении объектов установлено снижение уровня дефектности до 25 %, (технический эффект), увеличение показателя надежности конструкций до 20 % (социальный эффект). Доля экономического эффекта от повышения качества строительства составила 7,6 %, эффект относительно сметной стоимости равен 1,54 %.

Литература

1. Айвазян, С.А. *Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справ. изд.* / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. Драйпер, Н. *Прикладной регрессионный анализ: в 2 кн.* / Н. Драйпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика, 1986. – Кн. 1. – 366 с.; 1987. – Кн. 2. – 351 с.
3. Байбурин, А.Х. *Методика оценки качества возведения кирпичных зданий* / А.Х. Байбурин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура».* – 2009. – Вып. 9. – № 35(168). – С. 24–27.

Поступила в редакцию 19 января 2010 г.

Строительные материалы, изделия и конструкции

УДК 691.5

НИЗКООБЖИГОВОЕ МАГНЕЗИАЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ ИЗ БРУСИТОВЫХ ПОРОД

А.А. Орлов, Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, Б.Я. Трофимов, Е.С. Белобородова

LOW CALCINING MAGNESIA ASTRINGENT FROM BRUCITE ROCKS

A.A. Orlov, L.I. Kramar, T.N. Chernikh, B.I. Trofimov, E.S. Beloborodova

Рассмотрены способы активизации процессов обжига бруситовых пород введением добавок-минерализаторов. Установлено, что введение в бруситовую породу хлоридов натрия и магния способствует снижению температуры обжига на 200...300 °С, что позволит уменьшить энергозатраты на обжиг, решить экологические проблемы и повысить качество условий труда. Выявлено, что более активной добавкой является $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

Ключевые слова: обжиг, магнезиальное вяжущее, брусит, добавки-минерализаторы.

The authors considered the method of stirring up the brucite rocks of calcining process by introducing mineralizer - additions. It is established that leading sodium chloride and magnesium in brucite rock promotes decreasing the temperature of calcining by 200...300 centigrade degrees, thus allow decreasing the power inputs on calcining, solve ecological problems and raise the conditions work quality. Discovered that more active admixture is $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

Keywords: calcining, magnesia astringent, brucit, mineralizer-additions.

На обжиг магнезиальных пород расходуется примерно 85% от общего объема энергозатрат, связанных с получением вяжущего, следовательно, оптимизация этого процесса – наиболее перспективный путь снижения его себестоимости.

Известно [1], что бруситовые и гидромагнезитовые породы, включающие до 30 % серпентинитов, при получении магнезиального вяжущего (периклаза – MgO) строительного назначения необходимо обжигать при температурах 1100...1200 °С. Несмотря на более высокие энергозатраты, бруситовое сырье является перспективным из-за возможности получения однородного, равномерно обожженного материала, вследствие низких потерь массы при обжиге, 31 % против 52 % для магнезита, а также из-за целесообразности утилизации бруситовой породы из отвалов Кульдурского рудника.

При пониженных температурах обжига в бруситовой породе с примесями серпентинитов происходит накопление на поверхности периклазовых новообразований мигрирующих OH^- групп. В результате вяжущее получается слабозакристаллизованным и очень активным и его твердение приводит к образованию структуры камня, состоящей из

блоков гидрооксихлоридов магния, разделенных прослойками гидроксида магния. В таком камне при изменении влажности образуются паутинообразные трещины, которые в дальнейшем приводят к разрушению магнезиального камня на блоки [2].

Для активизации процессов обжига бруситовой породы и ускорения кристаллизации периклаза наиболее перспективно использование добавок-минерализаторов, которые, в процессе обжига способствуют снижению температуры разложения исходных пород, удалению воды при низких температурах и ускорению кристаллизации, образующихся в процессе обжига минералов [3].

Целью исследования являлся поиск эффективных добавок-минерализаторов, способствующих снижению энергоемкости обжига бруситовой породы третьего сорта для получения магнезиального вяжущего строительного назначения.

В работе использовали:

- бруситовую породу 3 сорта Кульдурского месторождения, включающую до 30 % серпентинитов;
- связующее для грануляции – лигносульфонат технический;
- добавки солей-минерализаторов: шестиводный хлорид магния и безводный хлорид натрия;

Строительные материалы, изделия и конструкции

– для затворения полученного вяжущего согласно ГОСТ 1216–87 использовали водный раствор $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ с плотностью $1,20 \text{ г/см}^3$.

Для изучения свойств и состава полученного вяжущего применяли дериватографию, рентгенофазовый анализ (РФА) и физико-механические методы.

Результаты термического анализа бруситовой породы без добавки-минерализатора, с $NaCl$ и $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ представлены на рис. 1–3, из которых следует, что основная потеря массы (более 25 %) при обжиге бруситовой породы без добавок происходит в интервале температур $400 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$, с максимумом при $460 \text{ }^\circ\text{C}$ и связана с разложением минерала брусита. Кроме этого, более 4 % массы порода теряет при температурах от 560 до $800 \text{ }^\circ\text{C}$, что связано с разложением карбоната магния и серпентинов.

Введение добавки-минерализатора хлорида натрия не оказывает существенного влияния на ход разложения брусита. При этом температура разложения карбоната снижается на $13 \text{ }^\circ\text{C}$, а дегидратация серпентинов происходит при $780 \text{ }^\circ\text{C}$.

С добавкой-минерализатором $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ температура разложения брусита сдвигается в низкотемпературную область, до $413 \text{ }^\circ\text{C}$, это вызвано образованием расплава бишофита. При $440 \text{ }^\circ\text{C}$ процесс дегидратации ускоряется вследствие диссоциации безводного хлорида магния на Mg^{2+} и Cl^- , что интенсифицирует разрушение кристаллической решетки породообразующих минералов, в том числе карбоната магния и серпентина. Разложение этих минералов сдвигается в область низких температур до 482 и $736 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно. Это

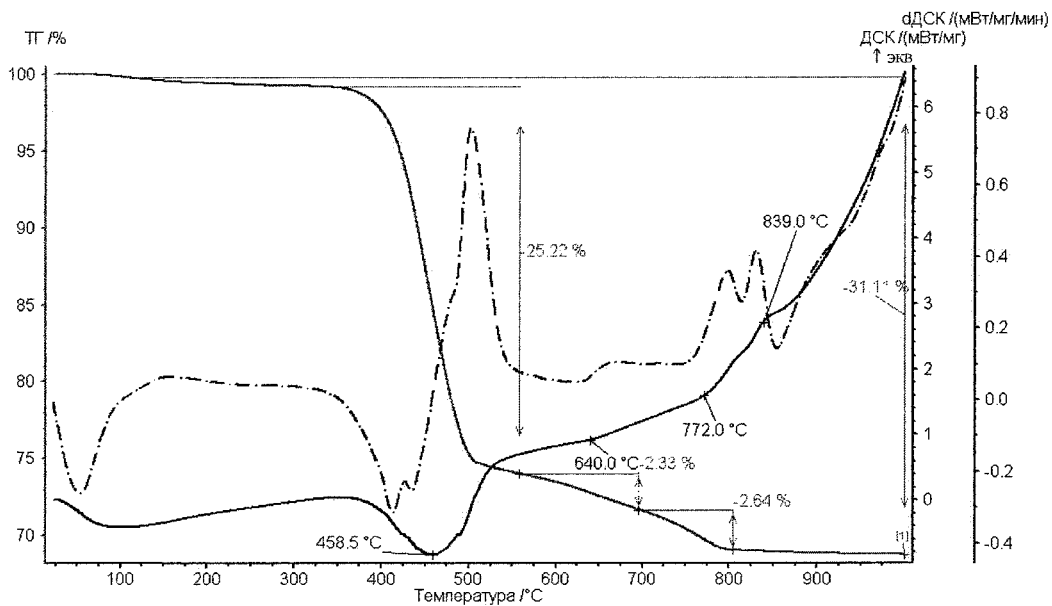


Рис. 1. Дериватограмма разложения бруситовой породы без добавки-минерализатора

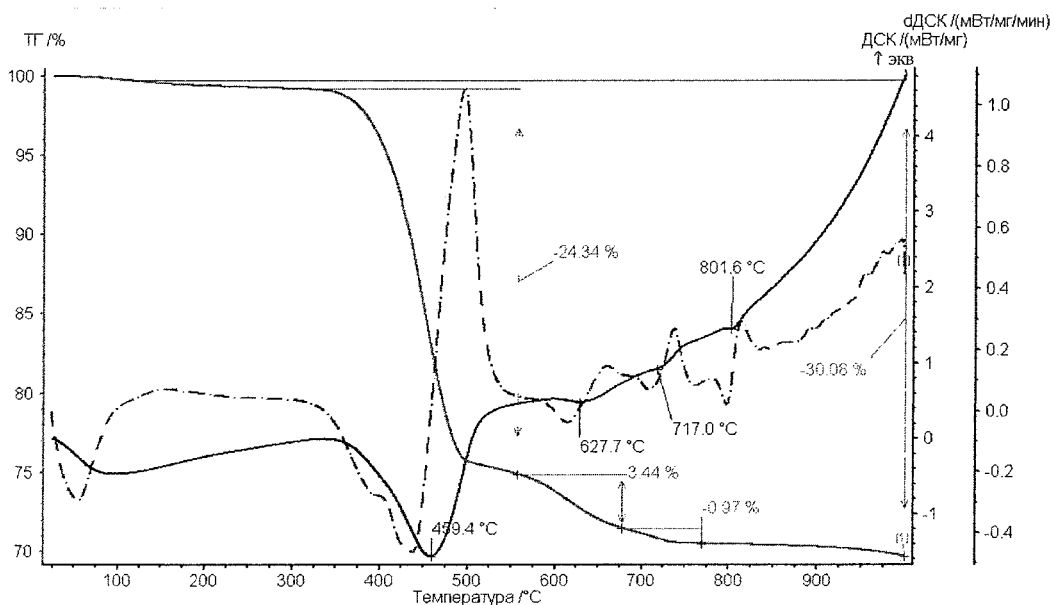


Рис. 2. Дериватограмма разложения бруситовой породы с добавкой $NaCl$

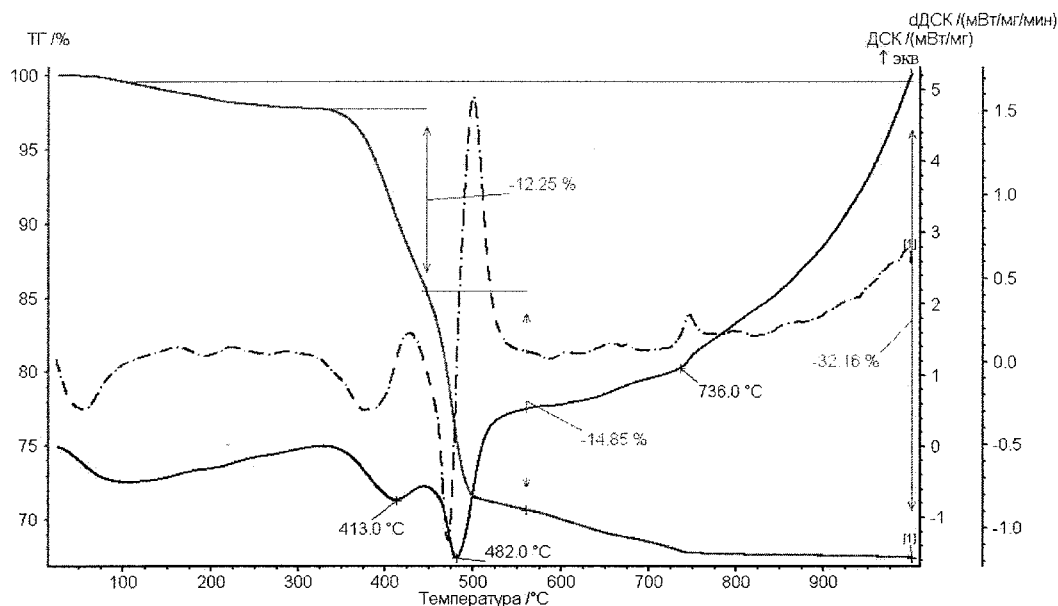


Рис. 3. Дериватограмма разложения бруситовой породы с добавкой $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

объясняется тем, что ионы Mg^{2+} , имея меньший электронный радиус, в сравнении с ионами Na^+ , и одновременно являясь составляющими породы, более активны, легче встраиваются в структуру гидроксида и гидросиликатов магнезия, дестабилизируя ее.

Из данных РФА следует, что в бруситовой породе с 4 % добавки $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, обожженной при 800 °C, присутствуют отражения соответствующие форстериту ($d/n = 0,51; 0,388; 0,277; 0,251; 0,246$ нм) – продукту разложения серпентинов. В бруситовой породе без добавок-минерализаторов форстерит кристаллизуется при 1000 °C и выше.

На основе полученных данных можно предположить, что введение хлоридов натрия и магнезия позволяет снизить температуру обжига бруситовой породы, необходимую для получения качественного магниезиального вяжущего. Для подтверждения данного предположения проводили обжиг бруситового сырья и исследование свойств полученных вяжущих.

Шихту для обжига готовили следующим образом: бруситовую породу измельчали до остатка на сите № 02 не более 15 %, смешивали с лигносульфонатом техническим (2 %) и формировали гранулы, смачивая смесь раствором соли-минерализатора. Обжиг полученных гранул проводили в лабораторной камерной печи ПКЛ-1,2 в течение 2 часов, при температурах от 600 до 1100 °C с шагом 100 °C.

После обжига гранулы измельчали до остатка на сите 008 не более 15 % и затворяли водным раствором хлорида магнезия плотностью 1,20 г/см³ до достижения тестом вяжущего стандартной консистенции по ГОСТ 1216–87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия». Равномерность изменения объема вяжущего определяли на образцах-лепешках по методике ГОСТ 310.3–76, которые выдерживали после 7 суток твердения на воздухе и 1 сутки в воде без кипячения.

Качество магниезиального вяжущего можно контролировать по размерам кристаллов периклаза и неравномерности изменения объема [4]. Сведения о размерах кристаллов периклаза, полученного при разных температурах обжига бруситовой породы представлены на рис. 4. Размеры кристаллов периклаза по области когерентного рассеивания определяли с помощью рентгеновского анализа по полуширине основных пиков и рассчитывали по формуле Шерера–Селякова.

Из полученных результатов следует, что размер кристаллов MgO по направлению 1-1-1 при одинаковых температурах обжига и введении добавок больше, чем при обжиге в бездобавочной шихте, при этом добавка шестиводного хлорида магнезия более эффективна. Оптимальный размер кристаллов MgO (38...45 нм) [1] достигается при обжиге шихты с $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ уже при 800 °C, с добавкой NaCl – при 850...900 °C, а без добавок – при 1100 °C и выше.

Более эффективное действие минерализатора $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, на наш взгляд, можно объяснить несколькими факторами. При нагревании шихты, вследствие топохимических процессов, уже при 400 °C начинает происходить разложение брусита, при 440 °C за счет диссоциации $MgCl_2$ на ионы магнезия и хлора, процесс разложения ускоряется за счет дестабилизации кристаллической решетки брусита и серпентинов ионами магнезия. Повышение температуры обжига до 800 °C и выдержка в течение некоторого времени интенсифицирует процесс кристаллизации периклаза.

Таким образом, вводя в шихту добавки-минерализаторы, можно снизить температуру обжига на 200...300 °C. Эти данные подтверждаются результатами определения равномерности изменения объема магниезиального камня (см. таблицу).

Обжиг вяжущего при температуре выше оп-

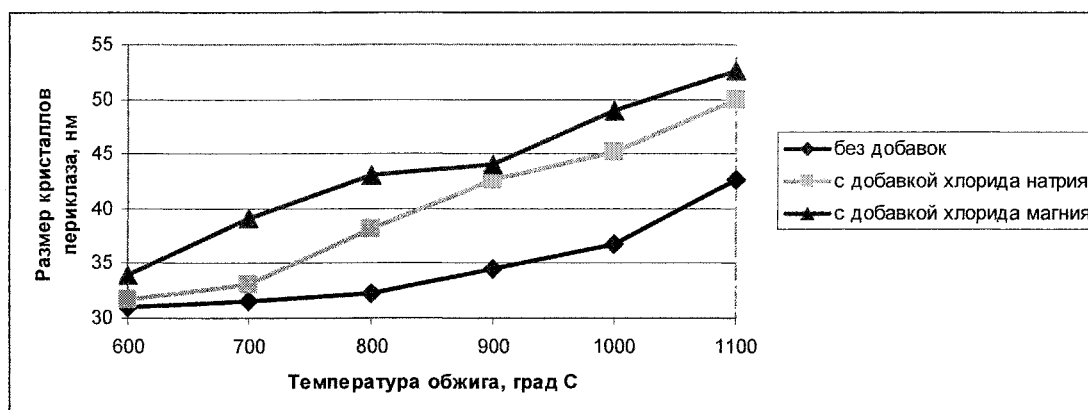


Рис. 4. Изменение размеров кристаллов периклаза по направлению 1-1-1 (нм) в зависимости от температуры обжига и вида добавки-минерализатора

Равномерность изменения объема магнезиального камня

Температура обжига, °С	Вид добавки в шихту		
	без добавок	с добавкой хлорида натрия	с добавкой шестиводного хлорида магния
600	Сплошная сеть трещин (недожог)	Сплошная сеть трещин (недожог)	Сплошная сеть трещин (недожог)
700	Сплошная сеть трещин (недожог)	Сплошная сеть трещин (недожог)	Отдельные трещины по краям (недожог)
800	Сплошная сеть трещин (недожог)	Отдельные трещины по краям (недожог)	Без трещин
900	Сплошная сеть трещин (недожог)	Без трещин	Без трещин
1000	Отдельные трещины по краям (недожог)	Без трещин	Отдельные сквозные трещины (пережог)
1100	Без трещин	Отдельные сквозные трещины (пережог)	Отдельные сквозные трещины (пережог)

тимальной приводит к интенсивному росту в нем кристаллов переклаза до состояния «пережога». Из-за низкой активности «пережог» длительное время не взаимодействует с водой, а его гидратация в поздние сроки приводит к увеличению объема в 2,17 раза, что вызывает внутренние напряжения в сформированном магнезиальном камне и появление трещин.

При оптимальных температурах формируется материал, который при твердении создает однородный магнезиальный камень, упрочняющийся во времени.

Выводы

1. Для снижения температуры обжига бруситовой породы при получении вяжущего строительного назначения наиболее эффективно использование добавок-минерализаторов, радиус катионов которых равен или близок к радиусу Mg^{2+} .

2. При использовании добавки шестиводного хлорида магния температуру обжига можно снизить до 800...900 °С (против 1100 °С для бездобавочной шихты). Применение хлорида натрия позволяет проводить термообработку при 900...1000 °С.

3. Шестиводный хлорид магния активизирует удаление воды из гидроксида магния и формиро-

вание кристаллов периклаза, вероятно благодаря активной дестабилизации кристаллической решетки ионами магния в процессе нагрева.

4. Хлорид натрия в меньшей степени влияет на температуру обжига бруситовой породы, так как его действие заключается в образовании расплава этой соли при более высокой температуре – 801 °С.

Литература

1. Крамар, Л.Я. Обжиг бруситовой породы для получения магнезиального вяжущего строительного назначения / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных // Популярное бетоноведение. – 2009. – Вып. 5-31. – С. 47–50.
2. Крамар, Л.Я. Магнезиальные вяжущие строительного назначения / Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов Т.Н. Черных // Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси: справочник. – СПб.: НПО «Профессионал», 2009. – С. 507–604.
3. Минерализаторы в цементной промышленности / под ред. Н.А. Торопова. – М.: Стройиздат, 1964. – 199 с.
4. ТУ 5745-004-70828456-2005. Магнезиальное вяжущее. – Челябинск, 2006. – 6 с.

Поступила в редакцию 2 сентября 2010 г.

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРА ГИДРОКСИДА НАТРИЯ НА МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

А.Б. Самойленко, В.Н. Шестаков

INFLUENCE OF SOLUTIONS HYDROXIDE SODIUM ON FROST HEAVING OF THE CLAY SOIL

A.B. Samoylenko, V.N. Shestakov

Изложены физико-химические предпосылки к снижению морозного пучения глинистых грунтов путем их обработки растворами гидроксида натрия с добавкой негашеной извести. Приведены результаты лабораторных исследований, подтверждающих высокую степень снижения морозного пучения обработанного таким раствором легкого пылеватого суглинка.

Ключевые слова: морозное пучение грунта, гидроксид натрия.

Physical and chemical preconditions are stated to decrease frost heaving of the clay soil by their processing solutions hydroxide sodium with the additive not slaked to exhaust. Results of laboratory researches are given, which confirmed high degree of decrease frost heaving processed easy loam solution.

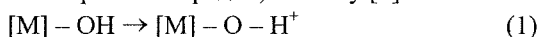
Keywords: frost heaving of the soil, hydroxide sodium.

Наибольшему пучению подвержены пылеватые глинистые грунты, в глинистой фракции которых преобладают минералы типа гидрослюды и каолинита, в составе обменных катионов которых в значительном количестве содержатся H^+ -ион и двухвалентные катионы [1].

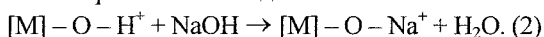
Так в непучинистой монтмориллонитовой глине при введении в поглощающий комплекс многовалентных катионов кальция, алюминия, железа (Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+}) происходит агрегирование, повышается содержание пылеватой фракции, улучшаются капиллярные свойства. В условиях возможности дополнительного поступления влаги происходит ее интенсивная миграция и пучение грунта при промерзании. Наоборот, при замене двухвалентных катионов и H^+ -иона одновалентными (Na^+ , K^+) в сильнопучинистых пылеватых суглинках и каолининовой глине пучение резко уменьшается [1].

В связи с разработкой способа снижения пучинистости глинистых грунтов рассмотрено «зашелачивание» грунта, заключающееся в нагнетании водного раствора щелочи (NaOH) с добавкой извести (CaO).

У глинистых минералов в щелочной среде происходит дополнительная диссоциация поверхностных структурных гидроокислов (по сравнению с нейтральной средой) по типу [2]



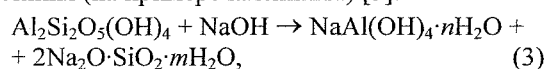
с последующим обменом H^+ на Na^+ из раствора щелочи и образованием воды



Процессы диссоциации поверхностных OH^- -

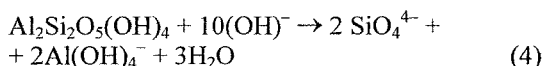
групп и обмена H^+ на Na^+ растут с увеличением концентрации раствора щелочи. При низких концентрациях раствора (< 1 н) поглощение грунтом щелочи в основном контролируется обменными реакциями и физико-химическим процессом увеличения емкости обмена твердых частиц. По мере роста концентрации раствора наряду с обменными физико-химическими протекают химические процессы частичного растворения кристаллической решетки минералов твердой фазы грунта и выделение из растворов значительно менее растворимых химических соединений, по отношению к которым контактирующий раствор оказывается пересыщенным. В отсутствие пересыщения новых соединений в растворе образовывается мало, поскольку срастание частиц и их агрегатов за счет новой фазы происходит лишь при достаточно высоких концентрациях раствора (> 1 н).

Формирование прочности дисперсных грунтов при обработке их щелочными растворами высокой концентрации связано с возникновением новых вяжущих веществ на контактах частиц грунта, образованных из продуктов разрушения алюмосиликатного ядра глинистых, некоторых первичных и типоморфных минералов. Так, внедрение OH^- -иона щелочи в координационную сферу атомов Al и Si алюмосиликатов приводит к разрушению связей Si–O–Al, а затем и Si–O–Si с выходом из решетки в раствор оксидов кремния и алюминия (на примере каолинита) [3]:

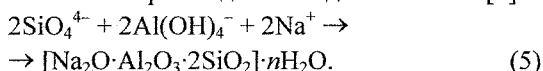


или

Строительные материалы, изделия и конструкции



с последующим формированием по конденсационному механизму новой твердой фазы гидроалюмосиликатов натрия содалитоподобного типа [4]:



Согласно исследованиям МГУ и БашНИИСтроя, результатом обработки глинистых грунтов раствором гидроксида натрия является увеличение модуля деформации в 8–10 раз, сцепления в 1,5–2 раза, угла внутреннего трения в 1,5–2 раза. Изменяются физико-химические свойства. Так верхний предел пластичности возрастает на 30–40 %, а число пластичности снижается примерно в 2 раза, в результате чего грунты сохраняют твердое состояние в широком диапазоне влажности. Катионы кальция в системе «глинистый грунт – раствор NaOH» приводят к созданию дополнительных соединений типа гидрогранатов, гидросиликатов кальция, кальцита, способных цементировать песчаные и пылеватые частицы грунта и принимать участие в создании жесткой конденсационно-кристаллизационной структуры, что обуславливает еще большее его упрочнение [5].

Эксперимент был поставлен, с целью выявления снижения степени пучинистости грунта после его обработки водным раствором гидроксида натрия с добавкой негашеной извести. Гидроксид натрия NaOH и негашеная известь CaO удовлетворяют требованиям ГОСТ 2263–79 и ГОСТ 9179–77.

В лабораторных исследованиях использовался сильнопучинистый легкий пылеватый суглинок ($\varepsilon_{fh} = 0,09$), отобранный из тела земляного полотна, со следующими свойствами: число пластичности $I_p = 8$, максимальная плотность $1,66 \text{ г/см}^3$, оптимальная влажность $W_{opt} = 20 \%$.

Применены растворы гидроксида натрия 2,5–7,5 н концентрации (плотность $1,11–1,27 \text{ г/см}^3$). Добавка извести варьировалась от 0 до 1 % от объема раствора.

Образцы грунта изготавливались по ГОСТ 22733–2002 в кольцах (диаметр 100 мм, высота 150 мм). Образцы в кольцах устанавливались меж-

ду двумя перфорированными пластинами из оргстекла, скрепленными между собой болтовым соединением для предохранения грунта от деформаций набухания. Образцы помещались в герметично закрывающуюся емкость, в которую наливался раствор гидроксида натрия на 2–3 мм ниже поверхности грунта. Образцы выдерживались в растворе в течение 30 суток. После этого срока образцы в кольцах помещались в установку для определения относительной деформации морозного пучения ε_{fh} по методике ГОСТ 28622–90:

$$\varepsilon_{th} = hd^{-1}, \quad (6)$$

где h – вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм; d – фактическая толщина промерзшего слоя образца грунта, мм.

Рассмотрено влияние на пучение грунтов трех факторов: концентрации раствора гидроксида натрия (x_1), дозировки извести (x_2) и коэффициента уплотнения грунта (x_3).

В связи с многофакторностью решаемой задачи, а также ожидаемой нелинейности исследуемых зависимостей, для ее решения был использован полный факторный эксперимент (ПЭФ 2^3) ортогонального планирования второго порядка. При ортогональном планировании коэффициенты полинома определяются независимо друг от друга – вычеркивание или добавление слагаемых в функции отклика не изменяет значения остальных коэффициентов полинома [6] (см. таблицу).

По результатам эксперимента и оценки значимости коэффициентов регрессии получена адекватная зависимость (см. рисунок):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{fh} = & 2,966 - 0,471x_1 - 0,437x_2 - 0,298x_3 - \\ & - 0,206x_1^2 - 0,13x_2^2 - 0,42x_3^2 - 0,113x_1x_3 - \\ & - 0,163x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (7)$$

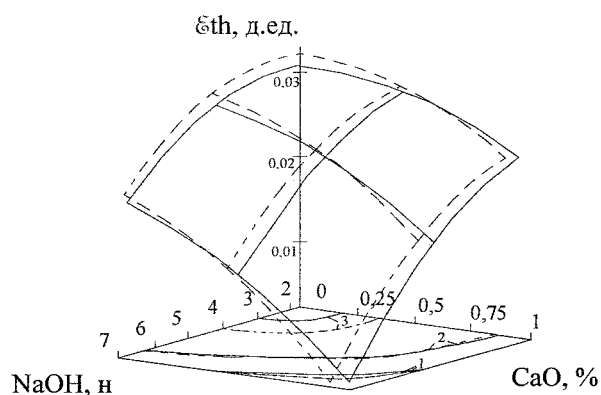
Значимость коэффициентов регрессии оценивалась критерием Стьюдента при 5 %-ном уровне значимости, адекватность математической модели критерием Фишера ($F_{0,05}^T = 2,7 > F = 0,57$).

Из полученных данных следует, что обработка легкого пылеватого суглинка с коэффициентом

Условия планирования эксперимента

Факторы	Единица измерения	Код	Интервал варьирования	Уровни и плечи звездных точек				
				-1,215	-1	0	+1	+1,215
Концентрация раствора гидроксида натрия	н	x_1	2,05	2,5	2,95	5	7,05	7,5
Дозировка извести	% от объема раствора гидроксида натрия	x_2	0,41	0	0,09	0,5	0,91	1
Коэффициент уплотнения грунта	д.ед.	x_3	0,04	0,90	0,91	0,95	0,99	1,00

уплотнения 0,9–1,0 раствором NaOH 3–4 н концентрации с добавкой извести 0,2–0,3 % от объема раствора, позволяет снизить его относительную деформацию морозного пучения в три раза.



Зависимость относительной деформации морозного пучения ϵ_{fn} суглинка легкого пылеватого от концентрации раствора NaOH и добавки извести CaO при коэффициенте уплотнения грунта: --- 0,90; — 1,00; 1 – изолиния относительной деформации морозного пучения равной 0,01; 2 – 0,02; 3 – 0,03

В результате обработки глинистого грунта раствором оговоренного состава степень его мо-

розного пучения снижается до слабопучинистого, что позволяет, в соответствии со СНиП 2.05.02–85, применять его в рабочем слое земляного полотна.

Литература

1. Нерсесова, З.А. Пучение пылеватых суглинков при промерзании и физико-химические приемы борьбы с ними / З.А. Нерсесова // Труды ВНИИ Транспортного строительства. – М.: Транспорт, 1967. – С. 157–167.
2. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовников, Н.И. Суханов. – М.: Высшая школа, 2005. – 558 с.
3. Жданов, С.П. Химия цеолитов / С.П. Жданов, Е.П. Егоров. – Л.: Наука, 1980. – 82 с.
4. Самарин, Е.Н. Закономерности формирования техногенно-геохимических систем в глинистых породах в условиях щелочных сред: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Е.Н. Самарин. – М.: МГУ, 1990. – 18 с.
5. Волков, Ф.Е. Роль растворов щелочи в процессе формирования микроструктуры грунтобетона / Ф.Е. Волков // Строительные материалы. – 2003. – № 10. – С. 44–46.
6. Зазимко, В.Г. Оптимизация свойств строительных материалов / В.Г. Зазимко. – М.: Транспорт, 1981. – 103 с.

Поступила в редакцию 16 июля 2010 г.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ССФС И ТОПЛИВНОЙ ЗОЛЫ ОТВАЛОВ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

А.С. Парфенов, И.В. Пастушенко, К.В. Землянова, И.Л. Чулкова

THE INFLUENCE OF AGENT DSPP AND DUMP FUEL ASHES ON QUALITY OF CEMENT CONCRETE

A.S. Parfyonov, I.V. Pastushenko, K.V. Zemlianova, I.L. Chulkova

Представлены результаты исследования новой пластифицирующей добавки ССФС, отхода производства синтетического каучука, и золы отвалов Экибастузских углей на свойства цементного камня и бетона. Показана целесообразность их совместного применения для получения материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: модифицирование бетонов, пластифицирующие добавки, золошлаковые отходы.

The research results of dry sulphonated phenolic pitch (DSPP), a new fluidizing agent which is a waste product of artificial rubber and dump ashes of Ekibastuz carbons on quality of cement stone and concrete are given in the article. Reasonability of their combined usage for obtaining materials with high operational characteristics is shown.

Keywords: concrete modification, fluidizing agents, ash-and-slad wastes.

Бетон – основной строительный материал XXI века, претерпевая революционные преобразования, в наибольшей степени отвечает критериям устойчивого развития. Его ежегодное производство превышает 2 млрд м³, никакой другой продукт производственной деятельности на земном шаре не изготавливается в таких объемах. При этом в современных реалиях невозможно представить его производство без модифицирующих добавок.

Из всех используемых добавок самыми распространенными для бетона являются пластификаторы. Эффективные разжижители бетонных и растворных смесей позволяют, при прочих равных условиях, в несколько раз повысить их подвижность против исходной, не вызывая при этом снижения прочности бетона или раствора при сжатии.

В результате многих исследований [1], установлено, что пластификаторы относятся к поверхностно-активным веществам (ПАВ) особого рода – диспергаторам.

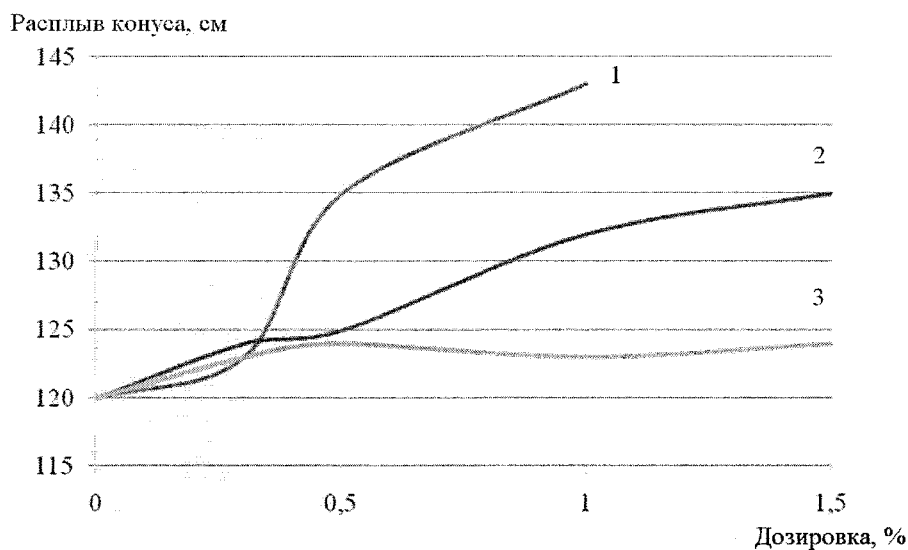
Действие пластифицирующих добавок сводится в основном к уменьшению вязкости цементного теста в бетонных и растворных смесях [2]. Пластифицирующий эффект этих добавок повышается с увеличением тонкости помола цемента, его расхода в бетонных и растворных смесях. При применении шлакопортландцемента, пуццоланового портландцемента, мелких песков и приготовления смесей с умеренным содержанием цемента, добавки способствуют вовлечению в смесь до 2 % воздуха, повышающего ее вязкость и улучшающего удобоукладываемость.

Целью данной работы является создание эффективного бетона с привязкой к существующей промышленной базе.

Для этого составлена база данных по отходам промышленных производств Омской области. Анализ состава имеющихся отходов химической промышленности позволил выделить ароматические соединения, представляющие собой отход производства фенола и ацетона по кумольному способу – фенольную смолу как наиболее перспективный для получения пластифицирующих добавок.

В результате проведенной работы синтезирована сульфированием фенольной смолы с последующей нейтрализацией пластифицирующая добавка ССФС (сульфированная смола фенольная сухая) [3].

В настоящее время добавка ССФС получена по двум технологиям, через выпаривание и фильтрование. Из полученного сухого вещества были приготовлены рабочие растворы для бетона. Сравнение растворов добавок показало, что независимо от способа производства, при нормальной температуре образуется осадок, для полного растворения которого необходимо повышение температуры до 40...50 °С. При этом осадок в растворе из сухого вещества, полученного фильтрованием, в два-три раза больше, чем осадок в растворе сухого вещества, полученного выпариванием. Испытания (табл. 1) показали невысокий пластифицирующий эффект в фильтрованной ССФС (кривая 3, рисунок), по сравнению с пластификацией раствором ССФС, полученной тем же технологическим спо-



Влияние технологии производства сухого продукта ССФС и его дозировки на пластифицирующую способность: 1 – ССФС, полученное выпариванием; 2 – ССФС, полученное фильтрованием (без осадка); 3 – ССФС, полученное фильтрованием (с осадком)

Таблица 1

Влияние видов добавок ССФС на прочностные свойства цемента

№ п/п	Добавка		В/Ц	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
	Вид	Кол-во сухого вещества от содержания цемента			
1	–	–	0,47	5,1	27,1
2	Выпаренная	0,3	0,47	–	–
3		0,5	0,47	5,53	28,1
4		1,0	0,47	5,5	29,5
5		0,3	0,47	5,93	27,0
6	Фильтров. без осадка	0,5	0,47	5,46	27,9
7		1,0	0,47	5,67	29,9
8		1,5	0,47	–	–
9		0,3	0,47	5,1	27,7
10	Фильтров. с осадком	0,5	0,47	5,23	29,6
11		1,0	0,47	–	29,8
12		1,5	0,47	6,1	30,3

собом, но с выделением осадка (кривая 2, рисунок). При этом пластифицирующая способность добавки, полученной выпариванием, гораздо выше пластифицирующей способности добавки, полученной фильтрованием.

Проведенные испытания позволяют выделить выпаривание как наиболее перспективный технологический способ получения пластифицирующей добавки, позволяющий получить продукт с более высокими технологическими свойствами [4].

В условиях изменившихся экономических отношений необходим поиск путей удешевления отечественных сухих смесей на основе вяжущих веществ. Целесообразно использование местных сырьевых ресурсов и отходов различных производств [5].

Применение ультракислых топливных зол Экибастузских углей совместно с цементом при дополнительном размоле способствует активации цемента и его экономии.

Для проведения исследований и выявления влияния введения золы отвала и пластифицирующей добавки ССФС на прочностные показатели смесей были выбраны следующие исходные материалы: цемент ПЦ 400 Д0 (Гопкинский); песок речной $M_{кр} = 2,0 \dots 2,2$; зола с отвалов Омской ТЭЦ 4. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 результаты испытаний показывают, что влияние пластифицирующей добавки ССФС на прочностные показатели бетонов сравнимы с влиянием повсеместно применяемого пластификатора С-3 при значительном снижении стоимости [6].

Результаты проведенной работы показывают, что по эффективности добавка может составить конкуренцию уже имеющимся на рынке аналогам. В дальнейшем планируется провести физико-химические испытания на бетонах, а также использовать полученную добавку для разработки новых комплексных добавок.

Влияние золы-отвала и добавки ССФС на прочностные характеристики бетона

№ обр.	Расход компонентов на замес 200г						$R_{сж}^{28}$ МПа
	Цемент, г	Зола отвалов (не измельч.), г	Зола отвалов (измельч.), г	Песок, г	Доб., г	Вода, г	
10	200	–	–	–	–	40	39,8
11	160	–	40	–	–	45	32,6
12	140	–	60	–	–	50	19,5
19	120	80	–	–	2 (С-3)	85	17,8
20	160	–	40	–	2 (С-3)	75	47,9
21	120	–	80	–	1,2 (Д)	75	22,8
22	120	80	–	–	1,2 (Д)	80	15,8
23	100	100	–	–	1,2 (Д)	60	5,0

Примечание. Д – ССФС-добавка (пластификатор – сульфированная смола фенольная сухая, выпаренная); В/Ц во всех случаях равно НГ и В/Ц = В/Ц при НГ без добавки.

Литература

1. Черкинский, Ю.С. Особенности пластификации бетонных смесей суперпластификаторами / Ю.С. Черкинский // Применение химических добавок в технологии бетона: материалы семинара. – М.: МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1980. – С. 37–40.
2. Дворкин, Л.И. О физической сущности правила водоцементного отношения / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // Бетон и железобетон. – 2008. – № 1. – С. 15–17.
3. Дугуев, С.В. Механохимическая активация в производстве сухих строительных смесей / С.В. Дугуев, В.Б. Иванова // Строительные материалы. – 2000. – № 5. – С. 28–29.
4. Калашников, В.И. Сухие строительные сме

си на основе местных материалов / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, Н.М. Дубошина // Строительные материалы. – 2000. – № 5. – С. 30–32.

5. Парфенов, А.С. Влияние технологии производства пластифицирующей добавки для бетонов на ее эффективность / А.С. Парфенов, И.В. Пастушенко, К.В. Землянова // Труды молодых ученых, аспирантов и студентов: межвузовский сборник. – Омск: СибАДИ, 2010. – С. 145–147.

6. Чулкова, И.Л. Применение техногенных отходов в производстве строительных материалов / И.Л. Чулкова, А.С. Парфенов, И.В. Пастушенко // Материалы 63-й научно-технической конференции ГОУ «СибАДИ». – Омск: СибАДИ, 2009. – Кн. 1. – С. 83–86.

Поступила в редакцию 15 июля 2010 г.

Инженерное оборудование зданий и сооружений

УДК 621.1.016+517.518.84

К ВЫЧИСЛЕНИЮ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Ю.С. Васильев, Ю.М. Мустафина

TO THE CALCULATING CHARACTERISTIC TIME IN THE PROCESS OF SOLVING HEAT CONDUCTION PROBLEM

Y.S. Vasiliev, Y.M. Mustafina

Получены приближенные дробно-рациональные формулы для вычисления постоянной времени теплового процесса. Формулы имеют весьма малую погрешность. Рассмотрены канонические формы тел: пластина, цилиндр и шар.

Ключевые слова: постоянная времени, дробно-рациональное приближение, алгоритм Ремеза.

Approximation fractionally rational formula was get for calculating of characteristic time of thermal process. It has a sufficiently small error. Canonical solids: plain, cylinder and sphere are shown.

Keywords: characteristic time, fractionally rational approximation, Remez algorithm.

Введение

Ряд инженерных задач связан с изучением процесса теплопроводности. Важной характеристикой такого процесса является постоянная времени. Это величина, с помощью которой можно определить, с какого момента времени процесс можно считать регулярным.

При решении задачи теплопроводности, например, методом Фурье [3], возникает характеристическое уравнение относительно собственного значения μ :

$$F(\mu, Bi) = 0, \quad (1)$$

где Bi – безразмерный критерий Био. Вид уравнения зависит от формы тела. Далее под μ будем подразумевать наименьший положительный корень уравнения (1). Постоянная времени T может быть вычислена следующим образом:

$$T = \frac{l^2}{a} \cdot \frac{1}{\mu^2}, \quad (2)$$

где l – характерный размер тела; a – коэффициент температуропроводности.

Уравнение (1) может быть трансцендентным и довольно сложным для решения. Представляется полезным получить простые формулы для вычисления μ . В работе [5] были получены такие формулы для бесконечной пластины, когда критерий Био может быть любым из промежутка $0 \leq Bi < \infty$.

В практических задачах критерий Био находится в промежутке $0,1 \leq Bi \leq 100$. Считается, что если критерий Био окажется вне этого промежутка, то имеет смысл пересмотреть постановку задачи.

В данной статье выводятся формулы для приближенного вычисления постоянной времени при выполнении условия $0,1 \leq Bi \leq 100$.

Пластина

Процесс теплообмена бесконечной пластины толщины l с окружающей средой описывается уравнением

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad (3)$$

где $t = t(x, \tau)$ – температура; l – толщина пластины; τ – время.

При этом должно выполняться начальное условие $t(x, 0) = \varphi(x)$ и одно из краевых условий на поверхности пластины при $x = l, \tau > 0$:

$$t(l, \tau) = t_n \text{ – первого рода,} \quad (3.1)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(l, \tau) = q_n \text{ – второго рода,} \quad (3.2)$$

$$\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(l, \tau) = -\alpha(t(l, \tau) - t_n) \text{ – третьего рода.} \quad (3.3)$$

Здесь α – коэффициент теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности материала пластины;

Инженерное оборудование зданий и сооружений

t_n – температура наружной среды; q_n – плотность теплового потока. Критерий Био $Bi = \alpha l / \lambda$. Аналогичные условия ставятся и при $x = 0$.

Краевые условия 1-го и 3-го рода

Характеристическое уравнение (1) для сочетания краевых условий вида (3.1) и (3.3) на поверхностях имеет вид $\mu \operatorname{ctg}(\mu) = -Bi$ [1, 3]. Будем считать наименьший положительный корень этого уравнения функцией критерия Био: $\mu = \mu(Bi)$.

Введем функцию $\mu_2(Bi) = 1/\mu^2(Bi)$. Ее график похож на график дробно-рациональной функции, поэтому будем искать приближение для $\mu_2(Bi)$ в виде функции

$$M(Bi) = \frac{A \cdot Bi + B}{Bi + C}, \quad (4)$$

где A, B, C – неизвестные параметры.

Относительная погрешность приближения, в процентах, рассчитывается по формуле

$$\delta(Bi) = \frac{\mu_2(Bi) - M(Bi)}{\mu_2(Bi)} \cdot 100. \quad (5)$$

Подберем коэффициенты A, B, C в выражении (4) так, чтобы достигался минимум максимума относительной погрешности (5) на промежутке $0,1 \leq Bi \leq 100$. Для этого воспользуемся алгоритмом Ремеза [2]. При попытке напрямую применить его на этом промежутке, возникают трудности со сходимостью алгоритма. Поэтому сделаем замену переменных $Bi = y/(1-y)$. Тогда если $0,1 \leq Bi \leq 100$, то переменная y будет принимать значения $0,0909 \leq y \leq 0,99$. Подставим выражение для Bi в приближение (4), выполним простейшие преобразования, чтобы получить дробно-рациональное выражение относительно y . В результате новое выражение для $M(y)$ будет иметь вид:

$$M(y) = \left(\frac{A-B}{1-C} y + \frac{B}{1-C} \right) / \left(y + \frac{C}{1-C} \right). \quad (6)$$

Обозначим $D = \frac{A-B}{1-C}$, $E = \frac{B}{1-C}$, $F = \frac{C}{1-C}$. Выражение (4) запишется как $M(y) = \frac{Dy + E}{y + F}$.

Найдем приближение на отрезке $0,0909 \leq y \leq 0,9900$ с помощью встроенной в пакет Maple функции *minimax*, вернемся к параметрам A, B, C , используя формулы $C = \frac{F}{1+F}$, $B = E(1-C)$, $A = B + D(1-C)$. В результате получим формулу

$$M(Bi) = \frac{0,0997 \cdot Bi + 0,3347}{Bi + 0,8079}, \quad (7)$$

при этом максимальная погрешность составляет 1,2% что видно из графика на рис. 1. Это приближение точнее, чем приближение с 5%-ной погрешностью, полученное в [5].

Для увеличения точности, повысим степени числителя и знаменателя на единицу и будем приближать функцию $\mu_2(Bi)$ выражением

$$M(Bi) = \frac{A \cdot Bi^2 + B \cdot Bi + C}{Bi^2 + D \cdot Bi + E}. \quad (8)$$

Найдя коэффициенты с помощью алгоритма Ремеза, полученную формулу запишем в виде

$$M(Bi) = 0,1014 - \frac{0,1681}{Bi + 3,3962} + \frac{0,3663}{Bi + 1,0374}, \quad (9)$$

с целью уменьшить количество арифметических действий. Погрешность этой формулы составляет 0,02%, что в 60 раз меньше погрешности приближения (7). График погрешности представлен на рис. 2.

Краевые условия 2-го и 3-го рода

Характеристическое уравнение (1) для сочетания краевых условий вида (3.2) и (3.3) имеет вид

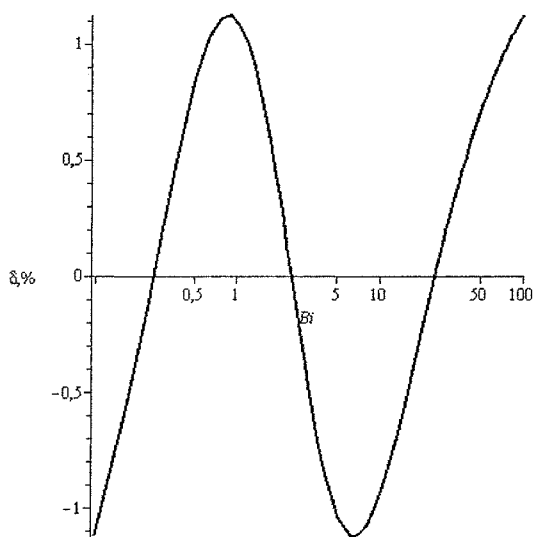


Рис. 1. Относительная погрешность формулы (7)

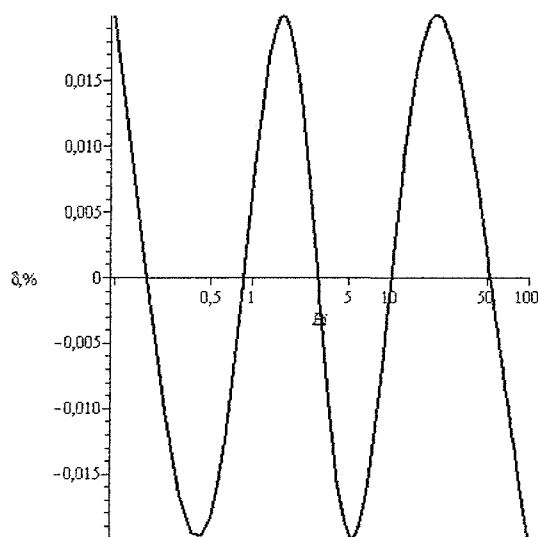


Рис. 2. Относительная погрешность формулы (9)

$\text{ctg}(\mu) = \mu/\text{Bi}$ [1, 3]. Как и в предыдущем случае, наименьший положительный корень этого уравнения – функция критерия Био: $\mu = \mu(\text{Bi})$. Введем функцию $\mu_2(\text{Bi}) = 1/\mu^2(\text{Bi})$. Будем искать приближение $\mu_2(\text{Bi})$ в виде (4).

Аналогично предыдущему случаю воспользуемся алгоритмом Ремеза. В результате получим формулу

$$M(\text{Bi}) = \frac{2,5136 \text{Bi} - 0,0158}{\text{Bi} + 2,3718} \quad (10)$$

При этом максимальная погрешность составляет 1,51 %, что видно из графика на рис. 3.

Рассмотрим следующее приближение вида (8). После применения алгоритма Ремеза получим, что погрешность составляет 0,018 %, что в 83 раза меньше, чем для приближения (10). Таким образом, формула

$$M(\text{Bi}) = 2,4665 - \frac{15,4083 + 4,8842 \text{Bi}}{\text{Bi}^2 + 4,5079 \text{Bi} + 6,2473} \quad (11)$$

точнее, чем аналогичная формула на бесконечном промежутке Bi [5] в 44 раза. График погрешности представлен на рис. 4.

Крайевые условия 3-го рода на обеих границах

Для сочетания крайевых условий вида (3.3) на обеих поверхностях пластины характеристическое уравнение (1) имеет вид:

$$\text{ctg}(\mu) = \frac{\mu^2 - \text{Bi}_1 \text{Bi}_2}{\mu(\text{Bi}_1 + \text{Bi}_2)} \quad (12)$$

Здесь Bi_1, Bi_2 – критерии Био для поверхностей пластины. Ввиду симметричности этого уравнения относительно Bi_1, Bi_2 , обозначим $p = \text{Bi}_1 \cdot \text{Bi}_2$, $s = \text{Bi}_1 + \text{Bi}_2$. В новых обозначениях уравнение (12) запишется как

$$\text{ctg}(\mu) = \frac{\mu^2 - p}{\mu s} \quad (13)$$

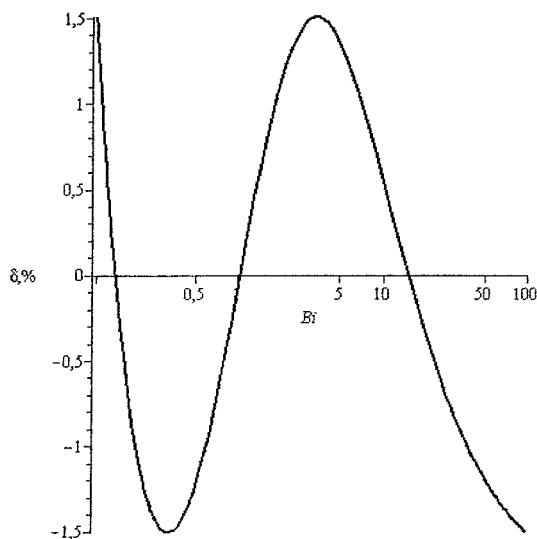


Рис. 3. Относительная погрешность формулы (10)

Наименьший положительный корень этого уравнения $\mu = \mu(s, p)$. Введем функцию $\mu_2(s, p) = 1/\mu^2(s, p)$. Область определения G для функции $\mu_2(s, p)$ – треугольник ABC , в котором сторона AB есть парабола $p(s) = s^2/4$, где $0,2 \leq s \leq 200$; стороны BC и CA – прямолинейные отрезки с уравнениями $p(s) = 0,1s - 0,01$, $0,2 < s < 100,1$ и $p(s) = 100s - 10\,000$, $100,1 \leq s < 200$.

Будем искать приближение $\mu_2(s, p)$ в виде дробно-рациональной функции

$$M(s, p) = \frac{1 + As + Bp}{C + Ds + Ep} \quad (14)$$

Относительная погрешность приближения рассчитывается по формуле, аналогичной (5).

Перейдем к задаче приближения функции двух переменных рациональной функцией. Нахождение коэффициентов в формуле (14) представляет собой более трудную задачу, чем в одномерном случае. Разработанные алгоритмы имеют ограниченную область применения. Однако, достаточным условием того, что представленное рациональное выражение наилучшее, является наличие $n+1$ -точечного (n – число неизвестных параметров) чебышевского альтернанса, в данном случае шеститочечного. Затруднительным является нахождение первоначального приближения, с которого можно было бы начать поиск минимума нормы функции ошибок. Прямое применение алгоритма Ремеза не дает нужного результата. Поэтому поступим следующим образом. В области G проведем среднюю линию (рис. 5):

$$p(s) = \begin{cases} 0,05s - 0,005 + \frac{s^2}{8}, & s < 100,1; \\ 50s - 5000 + \frac{s^2}{8}, & s \geq 100,1. \end{cases} \quad (15)$$

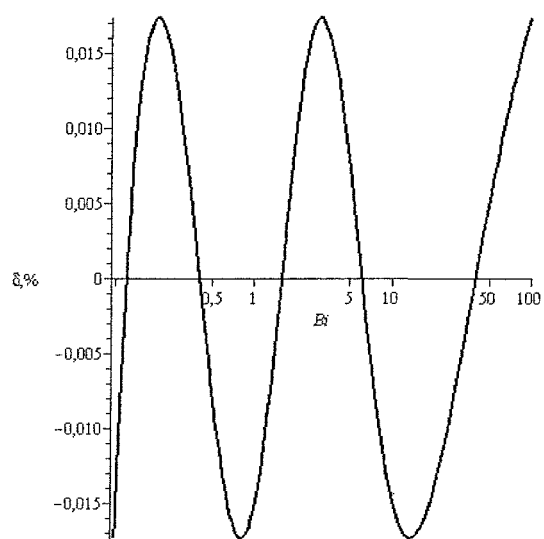


Рис. 4. Относительная погрешность формулы (11)

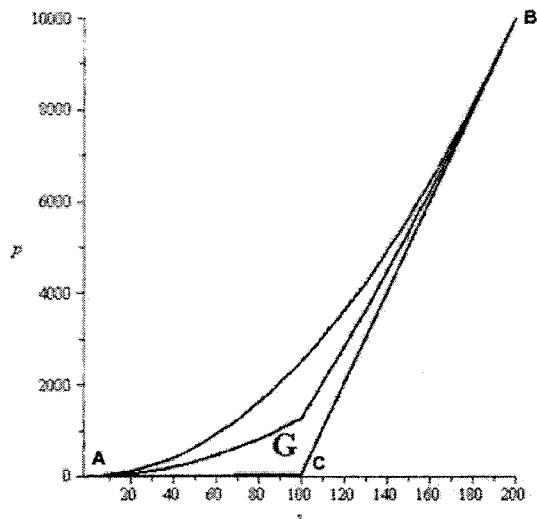


Рис. 5. Область определения $\mu_2(s, p)$ со средней линией

Рассмотрим функцию $\mu_2(s, p)$ на средней линии $p(s)$. Приближаемая функция тогда есть функция одного переменного $f(s) = \mu_2(s, p(s))$. Приближим ее по алгоритму Ремеза дробно-рациональным выражением

$$N(s) = M(s, p(s)) = \frac{1 + As + Bp(s)}{C + Ds + Ep(s)}$$

Получим, что

$$M(s, p) = \frac{1 + 0,4264s + 0,1396p}{-0,0056 + 1,0220s + 1,3926p}$$

Будем считать эту дробь начальным приближением к функции $\mu_2(s, p)$ в области G . Уточним полученные коэффициенты методом Нелдера–Мида [4], минимизируя функцию коэффициентов A, B, C, D, E :

$$g(A, B, C, D, E) = \max_{(s, p) \in G} \left| \frac{\mu_2(s, p) - M(s, p)}{\mu_2(s, p)} \right|. \quad (16)$$

Пользуемся этим методом, потому что он приспособлен для минимизации недифференцируемых функций, какой и является функция $g(A, B, C, D, E)$. После применения этой процедуры становится ясно, что все точки предполагаемого чебышевского альтернанса расположены на границе области G . Теперь применим алгоритм Ремеза уже на этой границе для дальнейшего уточнения коэффициентов в выражении (14).

В итоге получили приближение:

$$M(s, p) = \frac{1 + 0,4391s + 0,1319p}{-0,0179 + 1,0692s + 1,3458p} \quad (17)$$

Погрешность приближения (17) составляет 2,4 %. Погрешность аналогичной формулы в [5] составляет 5 %. Для лучшего представления характера погрешности $\delta(s, p)$ изобразим ее линии уровня и точки альтернанса в терминах Vi_1, Vi_2 на рис. 6.

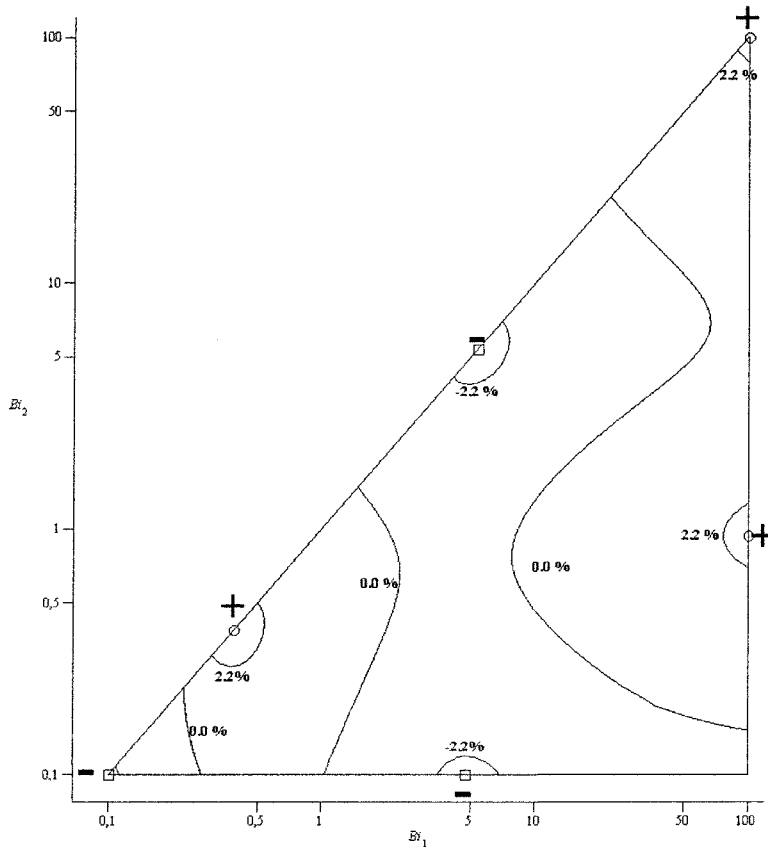


Рис. 6. Линии уровня и точки альтернанса функции ошибок $\delta(Vi_1, Vi_2)$

Наличие именно шести точек альтернанса, обозначенных на рис. 6 знаками «+» и «-», говорит о том, что полученное приближение наилучшее.

Цилиндр

Процесс теплообмена бесконечного цилиндра радиуса r_0 с окружающей средой описывается уравнением:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad 0 \leq r \leq r_0, \quad (18)$$

где $t = t(r, \tau)$ – температура, r – расстояние до оси цилиндра.

При этом должно выполняться начальное условие $t(r, 0) = F(r)$ и одно из краевых условий первого, второго или третьего рода на поверхности цилиндра.

Краевое условие 1-го или 2-го рода

Краевым условиям 1-го или 2-го рода, аналогичным (3.1) и (3.2), соответствуют характеристические уравнения (1) $J_0(\mu) = 0$ и $J_1(\mu) = 0$ соответственно [3]. Здесь $J_0(\mu)$, $J_1(\mu)$ – функции Бесселя первого рода. Так как первые корни есть 2,405 и 3,832, то из формулы (2) получим, что соответствующие постоянные времени

$$T_I = 0,1729 \frac{r_0^2}{a} \quad \text{и} \quad T_{II} = 0,0681 \frac{r_0^2}{a}.$$

Краевое условие 3-го рода

Рассмотрим условие 3-го рода вида (3.3). Характеристическое уравнение имеет вид $\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{\mu}{Bi}$, где $Bi = \alpha r_0 / \lambda$ [3]. Найдем прибли-

жения функции $\mu_2(Bi) = 1/\mu^2(Bi)$ аналогично случаю краевых условий 1-го и 3-го рода для пластины. Относительная погрешность выражается формулой (5).

Воспользуемся алгоритмом Ремеза, в результате получим:

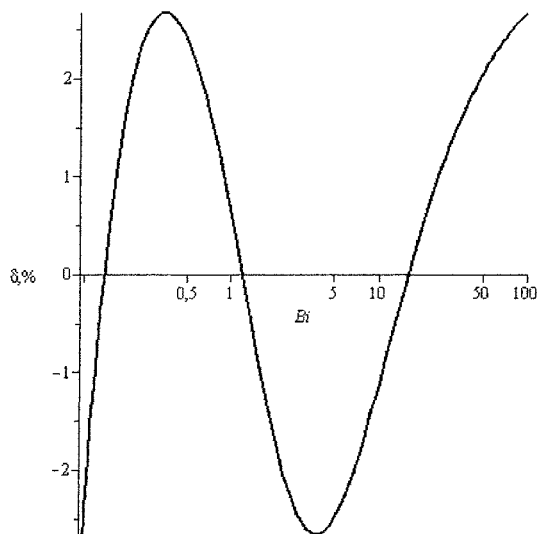


Рис. 7. Относительная погрешность формулы (19)

$$M(Bi) = \frac{0,1671Bi + 0,4567}{Bi - 0,0101}. \quad (19)$$

При этом максимальная погрешность составляет 2,7 % что видно из графика на рис. 7.

Проведем аппроксимацию дробно-рациональным выражением (8). В результате работы алгоритма Ремеза получим формулу:

$$M(Bi) = 0,1731 - \frac{0,1687}{Bi + 3,0518} + \frac{0,5025}{Bi + 4,2720 \cdot 10^{-4}}. \quad (20)$$

Ее погрешность составляет 0,054 %, что в 50 раз меньше погрешности предыдущего приближения (19). График погрешности представлен на рис. 8.

Шар

Процесс теплообмена шара радиуса r_0 с окружающей средой описывается уравнением:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad 0 \leq r \leq r_0, \quad (21)$$

где $t = t(r, \tau)$ – температура, r – расстояние до центра шара.

Выполняется начальное условие $t(r, 0) = F(r)$

и одно из краевых условий первого, второго или третьего рода на поверхности шара.

Краевое условие 1-го или 2-го рода

Для краевого условия на поверхности шара 1-го рода, аналогичного (3.1), или 2-го рода, аналогичного (3.2), характеристические уравнения (1) имеют вид $\sin \mu = 0$ и $\text{tg} \mu = \mu$ [3]. Так как корни этих уравнений известны, то из формулы (2) получим, что постоянные времени для этих случаев

$$T_I = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{r_0^2}{a} \quad \text{и} \quad T_{II} = 0,0495 \frac{r_0^2}{a}.$$

Краевое условие 3-го рода

Рассмотрим условие 3-го рода вида (3.3). Для

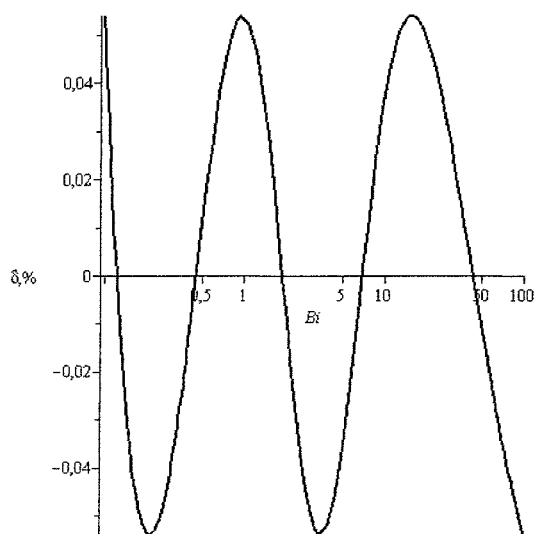


Рис. 8. Относительная погрешность формулы (20)

Таблица 1

Формулы постоянной времени для неограниченной пластины

$$\left(\begin{array}{l} \text{уравнение } \frac{\partial t}{\partial t} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, 0 < x < l; Bi \in [0, 1; 100] \end{array} \right)$$

Крайевые условия	Характеристическое уравнение	Формулы для постоянной времени T	
		Приближение 1-й степени, (погрешность)	Приближение 2-й степени, (погрешность)
I и III рода $t(0, \tau) = t_n$ $\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(l, \tau) = -\alpha(t(l, \tau) - t_n)$	$\mu \operatorname{ctg}(\mu) = -Bi$	$\frac{l^2}{a} \cdot \frac{0,0997Bi + 0,3347}{Bi + 0,8079}, (1,2 \%)$	$\frac{l^2}{a} \left(0,1014 - \frac{0,1681}{Bi + 3,3962} + \frac{0,3663}{Bi + 1,0374} \right), (0,02 \%)$
II и III рода $\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(0, \tau) = -q_n$ $\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(l, \tau) = -\alpha(t(l, \tau) - t_n)$	$\operatorname{ctg}(\mu) = \frac{\mu}{Bi}$	$\frac{l^2}{a} \cdot \frac{2,5136Bi - 0,0158}{Bi + 2,3718}, (1,51 \%)$	$\frac{l^2}{a} \left(2,4665 - \frac{15,4083 + 4,8842Bi}{Bi^2 + 4,5079Bi + 6,2473} \right), (0,018 \%)$
III и III рода $\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(0, \tau) = -\alpha_1(t_n - t(0, \tau))$ $\lambda \frac{\partial t}{\partial x}(l, \tau) = -\alpha_2(t(l, \tau) - t_n)$	$\operatorname{ctg}(\mu) = \frac{\mu^2 - Bi_1 Bi_2}{\mu(Bi_1 + Bi_2)}$	$\frac{l^2}{a} \cdot \frac{1 + 0,4391(Bi_1 + Bi_2) + 0,1319Bi_1 Bi_2}{-0,0179 + 1,0692(Bi_1 + Bi_2) + 1,3458Bi_1 Bi_2}, (2,4 \%)$	

Таблица 2

Формулы постоянной времени для бесконечного цилиндра

$$\left(\begin{array}{l} \text{уравнение } \frac{\partial t}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right), 0 < r < r_0; Bi = \frac{\alpha r_0}{\lambda}, Bi \in [0, 1; 100] \end{array} \right)$$

Крайевое условие	Характеристическое уравнение	Формулы для постоянной времени T	
		Приближение 1-й степени, (погрешность 2,7 %)	Приближение 2-й степени, (погрешность 0,054 %)
III рода $\lambda \frac{\partial t}{\partial r}(r_0, \tau) = -\alpha(t(r_0, \tau) - t_n)$	$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{\mu}{Bi}$	$\frac{r_0^2}{a} \cdot \frac{0,1671Bi + 0,4567}{Bi - 0,0101}$	$\frac{r_0^2}{a} \left(0,1731 - \frac{0,1687}{Bi + 3,0518} + \frac{0,5025}{Bi + 4,2720 \cdot 10^{-4}} \right)$

Таблица 3

Формулы постоянной времени для шара

$$\left(\begin{array}{l} \text{уравнение } \frac{\partial t}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right), 0 < r < r_0; Bi = \frac{\alpha r_0}{\lambda}, Bi \in [0, 1; 100] \end{array} \right)$$

Крайевое условие	Характеристическое уравнение	Формулы для постоянной времени T	
		Приближение 1-й степени, (погрешность 3,6 %)	Приближение 2-й степени, (погрешность 0,1 %)
III рода $\lambda \frac{\partial t}{\partial r}(r_0, \tau) = -\alpha(t(r_0, \tau) - t_n)$	$\operatorname{tg} \mu = -\frac{\mu}{Bi - 1}$	$\frac{r_0^2}{a} \cdot \frac{0,0966Bi + 0,2983}{Bi - 0,0125}$	$\frac{r_0^2}{a} \left(0,1015 - \frac{0,3359}{Bi + 6,8514 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,1480}{Bi + 3,5761} \right)$

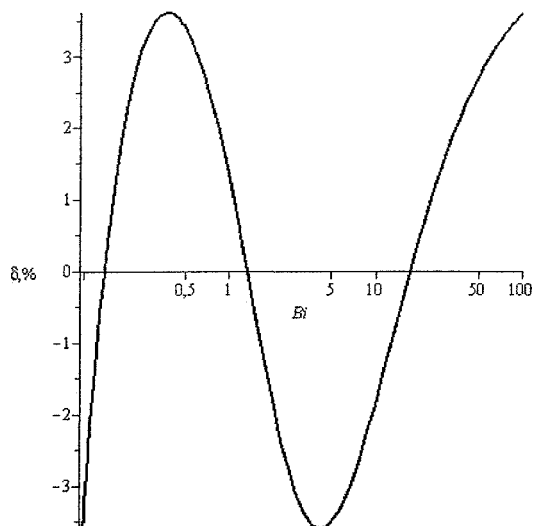


Рис. 9. Относительная погрешность формулы (22)

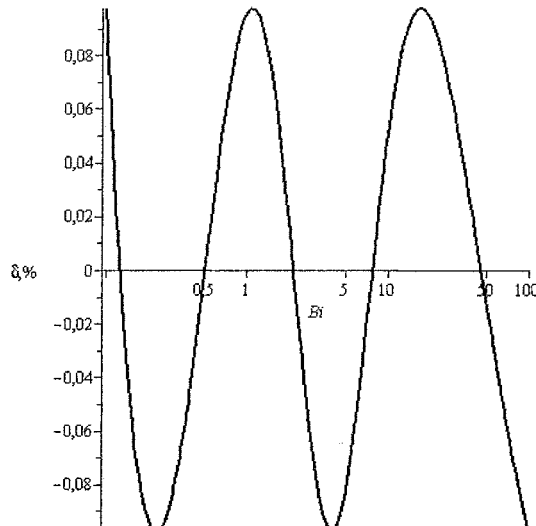


Рис. 10. Относительная погрешность формулы (23)

него характеристическое уравнение: $\operatorname{tg} \mu = -\frac{\mu}{Bi-1}$, где $Bi = \alpha r_0 / \lambda$ [3]. Приближим функцию $\mu_2(Bi) = 1/\mu^2(Bi)$ дробно-рациональными выражениями вида (4) и (8).

Как и в предыдущей задаче, воспользуемся алгоритмом Ремеза. В результате получим формулу

$$M(Bi) = \frac{0,0966 Bi + 0,2983}{Bi - 0,0125} \quad (22)$$

При этом максимальная погрешность (5) составляет 3,6 %, что видно из графика на рис. 9.

Для получения приближения с меньшей погрешностью воспользуемся выражением (8). После применения алгоритма Ремеза (с промежуточной заменой переменных), получим формулу:

$$M(Bi) = 0,1015 - \frac{0,3359}{Bi + 6,8514 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,1480}{Bi + 3,5761} \quad (23)$$

погрешность (5) которой составляет уже 0,1 %, что в 36 раз меньше погрешности предыдущего приближения (22). График погрешности представлен на рис. 10.

Сводка результатов

Сведем все полученные формулы в табл. 1–3. В табл. 1 приведены приближенные формулы с

погрешностями существенно меньшими, чем полученные в работе [5].

Заключение

Для постоянной времени теплового процесса выведены простые дробно-рациональные формулы с наименьшей относительной погрешностью, позволяющие не решать трансцендентного уравнения. Формулы удобны в практических расчетах, а также при программировании устройств управления, использующих значение постоянной времени в процессе работы.

Литература

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
2. Ремез, Е.Я. Основы численных методов чебышевского приближения / Е.Я. Ремез. – Киев: Наукова думка, 1969. – 624 с.
3. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
4. Численные методы. Использование MATLAB / Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 720 с.
5. Васильев, Ю.С. Инженерные формулы для определения постоянной времени / Ю.С. Васильев, А.В. Донская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2009. – Вып. 8. – № 16. – С. 43–48.

Поступила в редакцию 4 февраля 2010 г.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ОТАПЛИВАЕМЫХ ЗДАНИЙ

С.В. Панфёров

ENERGY-SAVING CONTROL SYSTEM FOR THE TEMPERATURE MODE OF HEATED BUILDINGS

S. V. Panferov

Предложен алгоритм компенсации основного возмущения для температурного режима зданий – температуры наружного воздуха. Разработана процедура настройки алгоритма на реальные теплотехнические характеристики зданий и их систем отопления. Показана эффективность применения этого алгоритма для целей энергосбережения. Разработана структурная схема адаптивной системы управления, реализующей указанный алгоритм и процедуру его настройки.

Ключевые слова: энергосбережение, температурный режим зданий, алгоритмы компенсации, настройка, адаптивная система управления.

The algorithm of indemnification of the basic indignation for a temperature mode of buildings - temperatures of external air is offered. Procedure of adjustment of algorithm on real heat engineering characteristics of buildings and their systems of heating is developed. Efficiency of application of this algorithm for the purposes of energy-saving is shown. The block diagram of the adaptive control system realizing the specified algorithm and procedure of its adjustment is developed.

Keywords: energy-saving, a temperature mode of buildings, algorithms of indemnification, adjustment, an adaptive control system.

Энергосбережение в жилищно-коммунальной сфере – это одна из первоочередных проблем настоящего времени, требующая незамедлительного решения. При этом следует заметить, что даже относительно небольшой успех в решении этой задачи в силу масштабности энергозатрат приводит к ощутимым эффектам в абсолютном выражении. Данную проблему пытаются решить различными методами, например, часто утверждается, что существенный эффект можно получить за счет установки теплосчетчиков. Однако при этом необходимо учитывать следующее обстоятельство. Во-первых, нужно отчетливо понимать, что установка теплосчетчиков это вообще-то не энергосберегающее мероприятие, это то, что способствует энергосбережению, но само по себе таковым не является. Финансовый выигрыш здесь получается из-за того, что нормы потребления завышены, фактическое энергопотребление ниже расчетного, поэтому оплата за энергоснабжение снижается. Настоящее энергосбережение начинается только тогда, когда самым серьезным образом начинают заниматься тепловым режимом отапливаемых зданий, исследованием и выявлением его особенностей, разработкой и внедрением систем автоматизации отопления и теплоснабжения в целом. Объясняется это тем, что автоматическое управление позволяет экономить теплоту за счет учета (как правило, опосредованного) тех факторов, учет ко-

торых проектно-расчетными методами либо невозможен, либо достаточно проблематичен:

- 1) влияние солнечной радиации;
- 2) тепловыделений от оборудования и людей;
- 3) избыточной мощности системы отопления при данной температуре наружного воздуха;
- 4) оперативного учета колебаний температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра и других возмущений со стороны наружной среды;
- 5) хаотичности режима работы систем вентиляции и т. п.

Одним из наиболее эффективных способов решения данной проблемы является построение адаптивных систем управления тепловым режимом зданий, программное обеспечение которых учитывает как реальные теплозащитные свойства зданий, так и действительные теплотехнические характеристики их отопительных установок.

При этом следует иметь в виду, что наиболее разумным, на наш взгляд, принципом управления тепловым режимом зданий является комбинированный принцип, когда в структуру системы управления вводится канал компенсации основного возмущения – температуры наружного воздуха и одновременно при этом в системе используется сигнал обратной связи о температуре воздуха внутри так называемых представительных помещений (в представительных точках) здания [1] (рис. 1).

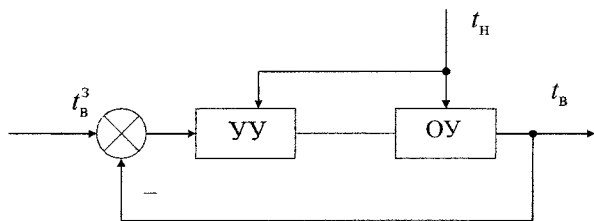


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Известно, что эффективность применения принципа компенсации во многом зависит от точности модели, отражающей влияние возмущения на выходную величину объекта управления, т. е. от характеристик канала «температура наружного воздуха – регулируемая температура». Также хорошо известно, что эти характеристики заметно меняются, например, из-за старения здания и его системы отопления, при накоплении влаги в ограждающих конструкциях и т. п. Поэтому вполне понятно, что для построения высококачественной системы управления необходимо своевременно отслеживать изменение этих характеристик, т. е. решать задачу идентификации модели канала. Вместе с тем заметим, что за счет обратной связи в рассматриваемой системе управления будут обрабатываться такие возмущения теплового режима как теплопоступления от людей, от работающего оборудования, за счет солнечной радиации, увеличение потерь теплоты из-за ветра, а также и все погрешности реализации канала компенсации основного возмущения – температуры наружного воздуха, однако известно, что быстродействие контура обратной связи заметно ниже, чем канала компенсации [2 и др.].

Подчеркнем также, что в настоящее время на практике, однако, применяются системы управления, осуществляющие только компенсацию основного возмущения – температуры наружного воздуха, это так называемые погодные регуляторы температуры (погодные компенсаторы). Обратная связь по температуре внутреннего воздуха здесь не реализуется, во многом это обуславливается некоторыми проблемами, связанными с измерением данной величины [3, 4]. В связи с этим были предложены системы управления по температуре физической модели здания [3, 4], которая якобы позволяет получить информацию о температуре внутреннего воздуха простейшим способом [4]. При этом задание погодным регуляторам температуры теплоносителя, подаваемого на вход системы отопления, вычисляется либо по упомянутой кривой Е.Я. Соколова, либо по указанной заказчиком кривой в зависимости от температуры наружного воздуха, для измерения которой могут применяться и специальные инерционные датчики [3, 4]. Причем кривую качественного регулирования можно корректировать (например, меняя ее коэффициент наклона (рассматриваемая кривая вообще-то достаточно близка к прямой) или за счет параллельного переноса), однако все это выполняется

эвристическим способом, используя накопленный опыт эксплуатации (см., например, [5; 6, с. 183]), никаких формализованных процедур, как правило, нет. Так, например, пользовательский интерфейс контроллера OUMAN EH-201/L предусматривает возможность задания и последующей корректировки графика регулирования по трем точкам: при температурах наружного воздуха -20 ; 0 ; $+20$ °С. Установка требуемой температуры теплоносителя в этих точках осуществляется «ползучим образом» с помощью клавиш «+» или «-» [7]. Очевидно, что часть графика при температурах наружного воздуха выше $+8$ °С просто не используется. У контроллеров Xenta так называемый график температуры подачи задается с помощью четырех точек, координаты которых указывают, какой должна быть температура теплоносителя на входе системы отопления при данной температуре наружного воздуха. Причем различаются отдельно режимы «день» и «ночь». Так, например, для г. Челябинска координаты точек графика подачи для режима «день» таковы: $(-34; 95)$; $(-10; 67)$; $(0; 53)$; $(20; 20)$, здесь первая координата указывает температуру наружного воздуха, а вторая – температуру прямой воды.

Представляя теплотери здания уравнением Н.С. Ермолаева [8], а мощность системы отопления известной моделью [8], и используя уравнение теплового баланса, можно показать, что алгоритм компенсации основного возмущения температурного режима зданий – температуры наружного воздуха будет иметь следующий вид:

$$t_{co} = t_B \left\{ 1 + q_V V \left[0,5 / (cG_{co}) + 1 / (kF)_{co} \right] \right\} - q_V V \left[0,5 / (cG_{co}) + 1 / (kF)_{co} \right] t_H, \quad (1)$$

где t_{co} и G_{co} – соответственно температура и массовый расход воды на входе системы отопления; $(kF)_{co}$ – параметр, подлежащий определению при идентификации модели системы отопления и представляющий собой произведение коэффициента теплопередачи k на площадь поверхности теплообмена F для всей системы отопления (систему отопления здания представляем эквивалентным отопительным прибором), c – удельная теплоемкость теплоносителя, q_V – удельная тепловая характеристика здания, V – его объем, t_B и t_H соответственно температура внутреннего и наружного воздуха.

Выбор t_{co} в качестве управляемой переменной обусловлен тем, что алгоритм компенсации, представленный в таком виде, может быть применен как при наличии автономной системы теплоснабжения здания, так и при централизованном теплоснабжении. В последнем случае на индивидуальном тепловом пункте (ИТП) здания должен быть установлен регулируемый узел смешения, позволяющий добиваться требуемого значения t_{co} , либо должна быть применена независимая

Инженерное оборудование зданий и сооружений

схема подключения к тепловым сетям с соответствующей системой управления. Поскольку у каждого отапливаемого здания проблемные параметры q_V и $(kF)_{co}$ имеют свои собственные значения и меняются они тоже только индивидуальным образом, то алгоритм может и должен быть реализован только на ИТП объекта управления, причем для его настройки на «реальный процесс» необходима разработка процедур оценки q_V и $(kF)_{co}$ по экспериментальным данным.

Разработан и апробирован по экспериментальным данным алгоритм совместной оценки параметров $(kF)_{co}$ и q_V , при этом при разработке последнего алгоритма уравнение (1) представлялось в виде общеизвестного линейного соотношения $y = a + bx$, в котором использовались следующие обозначения:

$$y = \frac{t_{co} - t_B}{t_B - t_H}; \quad x = \frac{1}{G_{co}};$$

$$a = q_V V \frac{1}{(kF)_{co}}; \quad b = q_V V \frac{0,5}{c}.$$

Адаптивный и неадаптивный алгоритмы идентификации параметров такой зависимости достаточно хорошо известны специалистам и их реализации не вызывает каких-либо затруднений. После того как значения a и b установлены значения искомым параметров определяются по соотношениям:

$$q_V = \frac{bc}{0,5V}; \quad (kF)_{co} = \frac{q_V V}{a}.$$

Настроенное по экспериментальным данным работы [9] указанным способом конкретное выражение алгоритма (1) для одного из пятиэтажных домов серии 1-464Д-105 (г. Челябинск) имеет вид:

$$t_{co} = t_B + 22536,318 \left[\frac{0,5}{cG_{co}} + \frac{1}{22686,16} \right] (t_B - t_H).$$

В данное выражение расход теплоносителя следует подставлять в т/ч. При этом средняя квадратическая погрешность аппроксимации экспериментальных данных для y равнялась 0,0225 отн. ед., а коэффициент корреляции $R_{y,x}$, оценивающий тесноту линейной связи между y и x , составил $R_{y,x} = 0,727$. Качество аппроксимации экспериментальных данных для y и x зависимостью $y = a + bx$ иллюстрируется рис. 2.

Как видно из рис. 2 качество аппроксимации вполне удовлетворительное.

В данном случае теплотехнические свойства ограждающих конструкций и системы отопления оценены для здания с автоматизированным ИТП. Здесь температура воздуха внутри контрольных помещений поддерживалась с приемлемой точностью на уровне 21 °С, «потенциал» экономии теплоты был практически выбран САР. Поэтому для определения возможного сокращения расхода теплоты на отопление за счет применения разработанного алгоритма компенсации по экспериментальным данным для другого здания без системы автоматизации нашли численные значения проблемных параметров $(kF)_{co}$ и q_V , и установили, что конкретный вид алгоритма компенсации будет следующим:

$$t_{co} = t_B + 50413,76 \left[\frac{0,5}{cG_{co}} + \frac{1}{63381,27} \right] (t_B - t_H).$$

Коэффициент корреляции $R_{y,x}$ составил в данном случае $R_{y,x} = 0,962$, что весьма удовлетворительно. С помощью данного выражения вычислили,

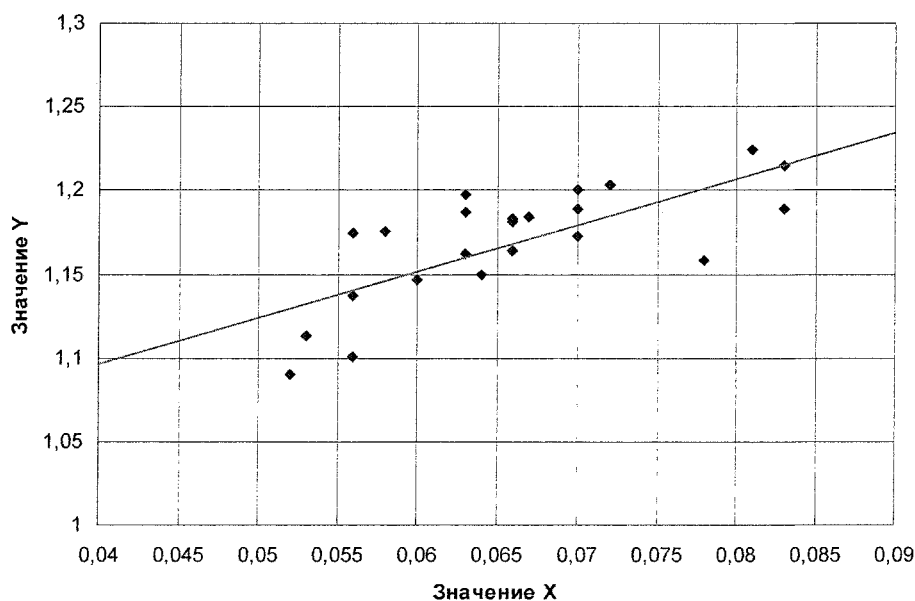


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных данных

какой должна быть температура теплоносителя на входе системы отопления для того, чтобы температура воздуха внутри контрольных помещений при имевшем место в реальных условиях расходе G_{co} равнялась $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Графики рассчитанной кривой и той кривой, которая имела место в реальных условиях, приведены на рис. 3.

На рис. 3 кривая 1 указывает фактическую температуру теплоносителя на входе системы отопления, а кривая 2 – температуру теплоносителя достаточную для выполнения условия $t_b = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ при том его расходе, который имел место в реаль-

ных условиях. В реальных условиях температура внутреннего воздуха контрольных помещений здания без автоматики изменялась в диапазоне от $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 3 видно, что требуемая по условию $t_b = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура t_{co} заметно ниже фактической. На рис. 4 приведены график фактического расхода воды на систему отопления G_{co} (кривая 1) и график такого расхода теплоносителя (кривая 2), при котором при фактическом значении t_{co} обеспечивается температура $t_b = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

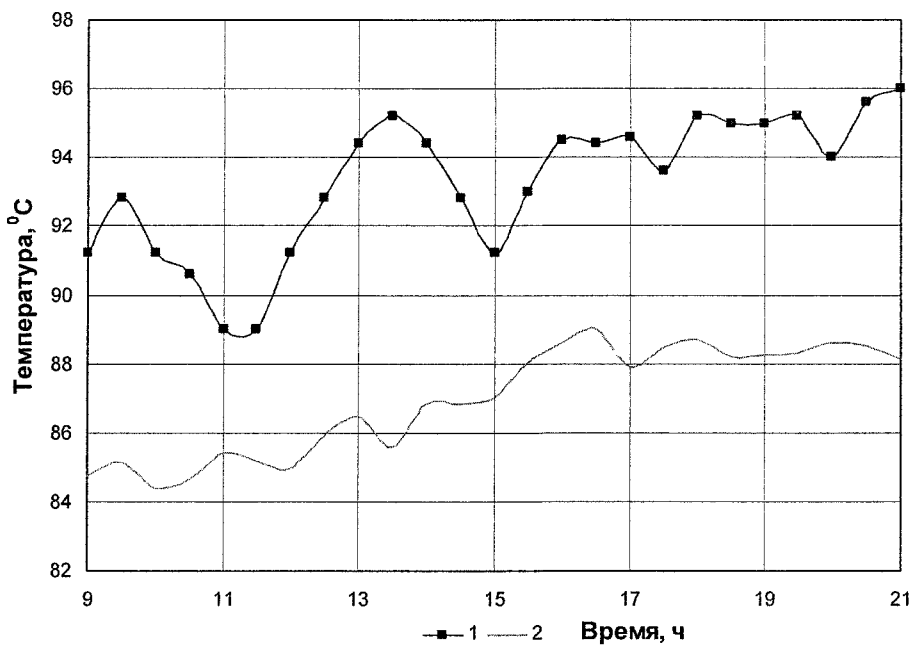


Рис. 3. Изменение температуры теплоносителя

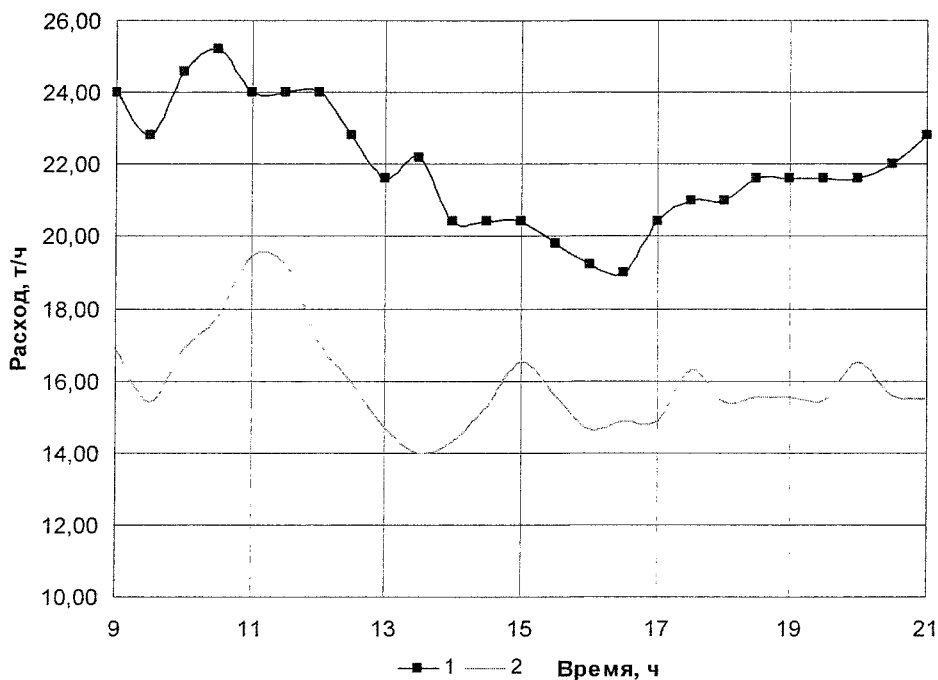


Рис. 4. Изменение расхода теплоносителя

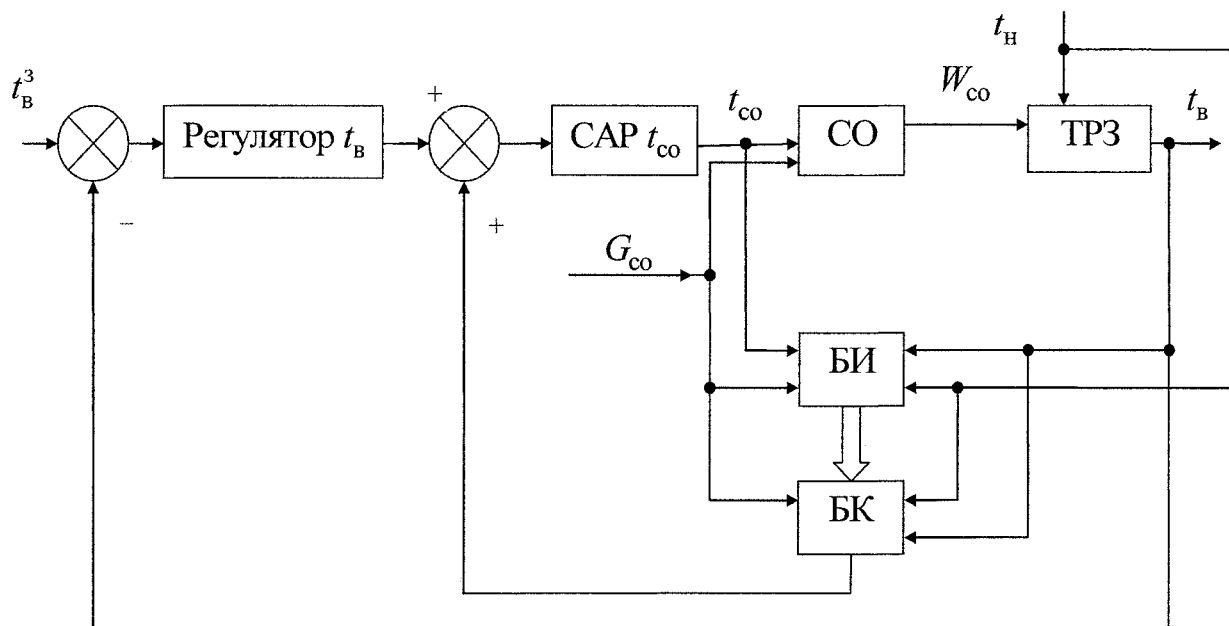


Рис. 5. Структура адаптивной системы управления

Как видно из рис. 4, требуемый по условию $t_B = 21^\circ\text{C}$ расход воды G_{co} также заметно ниже фактического, следовательно, применение данного способа управления ТРЗ позволит существенно сократить расход теплоты на отопление.

Разработано несколько вариантов структурной схемы адаптивной системы управления тепловым режимом зданий, базирующихся либо на раздельной, либо на совместной оценке проблемных параметров здания и его системы отопления. В частности, структурная схема системы управления для вышеуказанного случая приведена на рис. 5.

На рис. 5 использованы следующие обозначения: ТРЗ – тепловой режим здания, БИ – блок идентификации, в этом блоке определяются настраиваемые параметры, БК – блок компенсации, в этом блоке формируется сигнал компенсации в соответствии с формулой (1).

Выводы

Разработана процедура настройки алгоритма компенсации основного возмущения для температурного режима зданий – температуры наружного воздуха на реальные теплотехнические характеристики зданий и их систем отопления. Показана эффективность применения этого алгоритма для целей энергосбережения. Разработана структурная схема адаптивной системы управления, реализующей указанный алгоритм и процедуру его настройки.

Литература

1. Зингер, Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат, 1990. – 188 с.
2. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: учеб. для вузов / А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов. – М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
3. Сафонов, А.П. Регулирование отпуска тепла на отопление по соотношению температур воды и наружного воздуха / А.П. Сафонов, Н.А. Воронкова, В.А. Воронов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1978. – № 6. – С. 18–20.
4. Соколов, Е.Я. Групповое регулирование отопительной нагрузки / Е.Я. Соколов, А.В. Извеков, А.С. Булычев // Теплоэнергетика. – 1985. – № 3. – С. 50–56.
5. Одноконтурные регуляторы температуры и давления для систем теплоснабжения. – <http://WWW:www.kontel.ru>. – E-mail: kontel@ytsnet.ru
6. Монахов, Г.В. Моделирование управления режимами тепловых сетей / Г.В. Монахов, Ю.А. Войтинская. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 223 с.
7. OUMAN EH-201/L: инструкция. – <http://www.ouman.fi>
8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – 7-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
9. Туркин В.П. Автоматическое управление отоплением жилых зданий / В.П. Туркин, П.В. Туркин, Ю.Д. Тыщенко. – М.: Стройиздат, 1987. – 192 с.

Поступила в редакцию 12 января 2010 г.

РАЗМЕЩЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ НА ОТВЕТСТВЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ

Е.В. Соломин

PLACEMENT OF THE VERTICAL AXIS WIND TURBINES AT IMPORTANT ENGINEERING PROJECTS

E.V. Solomin

Дается описание методики вибробалансировки ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения

Ключевые слова: ветроэнергетика, вибрации.

The article describes the universal method of vibration balancing of vertical axis wind turbines.

Keywords: wind-power engineering, vibration.

Ветроэнергетика к началу XXI века выделилась в отдельную отрасль альтернативной энергетики на основе возобновляемых источников энергии. Несмотря на ряд очевидных неоспоримых достоинств, ветроэнергетические установки (ВЭУ) не лишены недостатков и в той или иной степени оказывают негативное влияние на окружающую среду. Основным источником такого влияния являются вибрационные колебания, генерируемые компонентами ветроэнергетической установки в процессе работы под действием возмущающих аэродинамических и инерционных сил и моментов. Особенно опасны резонансы возмущающих силовых воздействий и собственных колебаний компонентов ВЭУ, возникающие при дисбалансе ротора и приводящие к разрушению установки.

В связи с данными особенностями рядом стандартов и санитарных норм предписывается располагать ВЭУ на значительном удалении от жилых объектов, что приводит к повышению установочных и эксплуатационных расходов, а также к увеличению потерь при передаче энергии.

Вместе с тем, в связи с увеличением дефицита электроэнергии и роста цен на энергоносители количество запросов на размещение ВЭУ вблизи жилых, офисных и производственных зданий неуклонно растет. Более того, хаотичное размещение ВЭУ на кровле коттеджей принимает широкий размах. В связи с этим исследование взаимодействия системы «ВЭУ-здание» превращается в одну из основных исследовательских и конструкторских задач.

Силами ученых кафедры электротехники ЮУрГУ и ООО «ГРЦ-Вертикаль» за период 2002–2010 гг. был создан ряд ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения (рис. 1), отличающихся повышенным аэродинамическим КПД или коэффициентом использования энергии ветра (до 38%), аэродинамической стабилизацией скорости вращения, надежностью эксплуатации и пониженными вибрационными характеристиками.

Особенностью вертикально-осевых ветроустановок является то, что их работа не зависит от направления ветра и поэтому их производительность

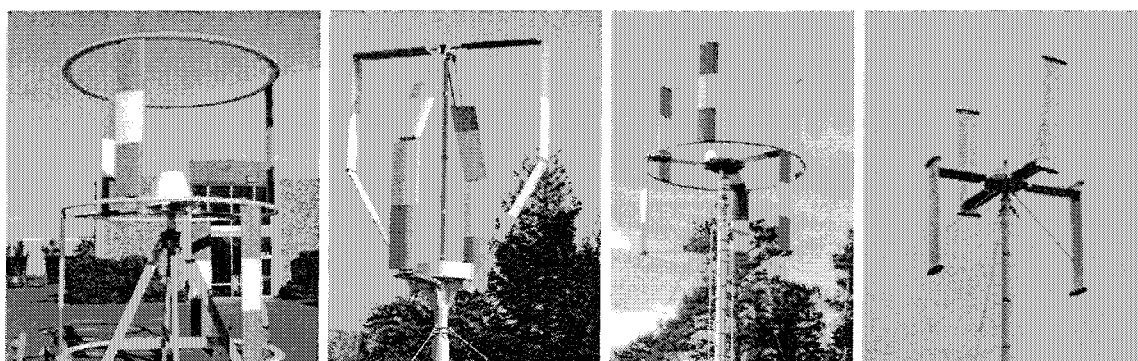


Рис. 1. Ветроэнергетические установки с вертикальной осью вращения

Инженерное оборудование зданий и сооружений

в целом выше, чем у горизонтально-осевых. Однако при вертикальном расположении оси вращения встает другая проблема, связанная с механическим ослаблением компонентов (или люфтом), которое будет проявляться в спектре вибрации всегда в той или иной степени. Причина этого явления проста – в агрегате с горизонтальным валом ротор прижат к подшипнику собственным весом, что является стабилизирующим фактором, требующим для возбуждения вибраций значительной возбуждающей силы, соизмеримой с весом ротора. При вертикальном расположении ротора – агрегата для возбуждения вибраций – достаточно небольших усилий. Этот недостаток в основном и является той причиной, по которой вертикально-осевые ветроустановки не нашли своего должного применения. Решение этой проблемы предложено в настоящей статье.

Процесс исследования на основе практического эксперимента является чрезвычайно дорогостоящим. Поэтому, учитывая мощное развитие микропроцессорной техники и основанных на ней математических аппаратов, одним из путей изучения параметров ветроэнергетических установок является компьютерное моделирование, а также всесторонний анализ физико-математических моделей с проведением соответствующих экспериментов.

Предметом исследования вибраций явилась ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения ВЭУ-3 (рис. 2), а также ее компьютерная (трехмерная) и математическая (функциональная) модели. Малая мощность 3 кВт была выбрана на предмет изучения, так как в условиях города или поселка размещение крупных установок чрезвычайно затруднено в силу ряда обстоятельств (дефицит площадей, недостаточная проч-

ность зданий и сооружений, ограничения по технике безопасности и т. д.).

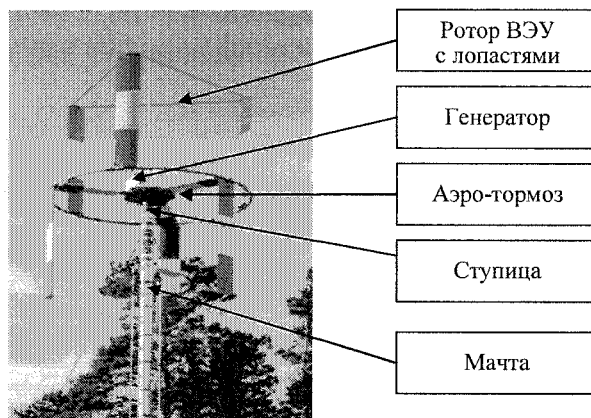


Рис. 2. Вертикально-осевая ветроэнергетическая установка ВЭУ-3(6) производства ООО «ГРЦ-Вертикаль», мощность 3 кВт

Анализ параметров ВЭУ, негативно влияющих на окружающую среду и здоровье человека приводит к следующему выводу: основным источником возникновения негативных процессов являются вибрации, возникающие в результате действия и взаимовлияния ряда физических процессов, происходящих в процессе работы ВЭУ.

Таким образом, основная задача уменьшения влияния основных и производных негативных параметров на окружающую среду заключается в снижении вибраций до уровня, определенного стандартами и нормами, при этом гарантирующего отсутствие возможности возникновения производных негативных процессов. Данная задача реализуется с помощью определенной последовательности действий (рис. 3).

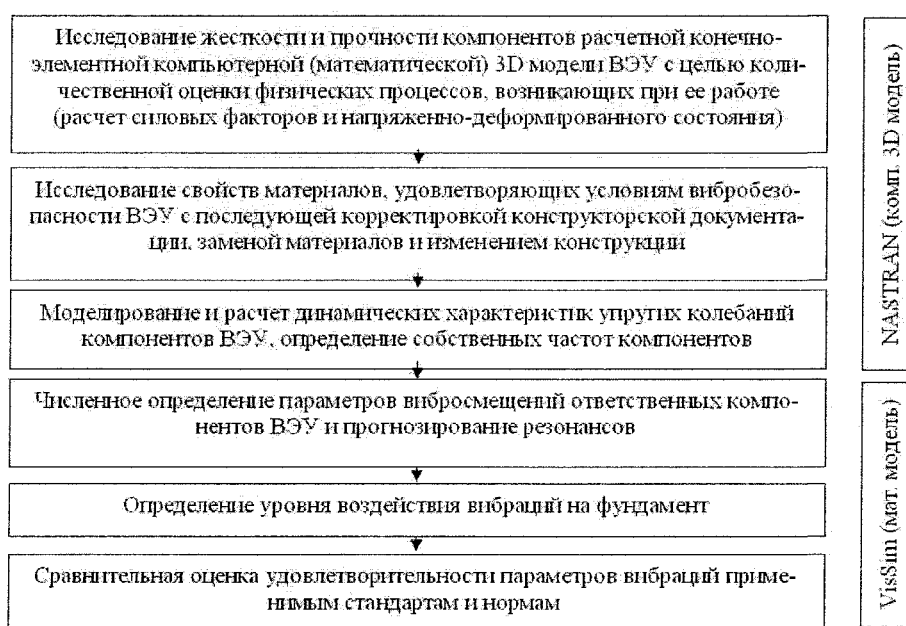


Рис. 3. Последовательность действий для обеспечения вибробезопасности ВЭУ

Задача обеспечения вибробезопасности ВЭУ распадается на последовательное проведение двух теоретических и одной экспериментальной процедур с дальнейшим анализом параметров ВЭУ на удовлетворительность соответствующим стандартам и нормам. Оценка влияния вибрации на человека проводится согласно СН 2.2.4/2.1.8.566–96. При размещении ВЭУ в непосредственной близости к среде обитания человека общая вибрация (амплитуда виброускорения, м/с^2) не должна превышать критического уровня $0,004 \text{ м/с}^2$.

Теоретические исследования заключаются в следующем:

- на основе трехмерной (3D) компьютерной модели, построенной в программном комплексе NASTRAN, определить методом конечных элементов свойства компонентов исследуемой ВЭУ, вычислить частоты собственных колебаний компонентов, оптимизировать конфигурацию ротора, провести подбор удовлетворительных материалов с целью максимального снижения вибраций;

- на основе математической функциональной модели, построенной в программной среде VisSim, провести анализ воздействия внешних аэродинамических и центробежных сил и моментов на ВЭУ, выявить возможные резонансы и провести оптимизацию конструкции за счет регулирования жесткости элементов с целью смещения резонансных явлений в безопасные частоты.

Построение моделей проведено с рядом допущений, не оказывающих существенного влияния на конечный результат (ламинарность и устойчивость давления и направления ветрового потока, однородность материалов и т. д.).

Расчет силовых факторов и напряженно-деформированного состояния компонентов ВЭУ проведен в программном комплексе NASTRAN (рис. 4).

Собственные частоты колебаний ротора вычислены во всем диапазоне его вращения, от 0 до 180 об/мин и в основном определяются жесткостными характеристиками основания ротора и его моментом инерции.

В процессе проведения анализа напряженно-деформированного состояния компонентов ВЭУ была изменена конфигурация ротора (рис. 5) со смещением ступицы из нижнего положения (известная конструкция ВЭУ, произведенная в США и генерирующая высокий уровень вибраций) в среднее между ярусами (новая конструкция, со значительно меньшим уровнем вибраций). В процессе расчетов откорректирована конструкторская документация и упругие откосы заменены на троповые растяжки.

На основании данных, полученных в результате исследования компьютерной трехмерной модели в программном комплексе NASTRAN проведен дальнейший анализ математической модели, построенной в среде визуального моделирования

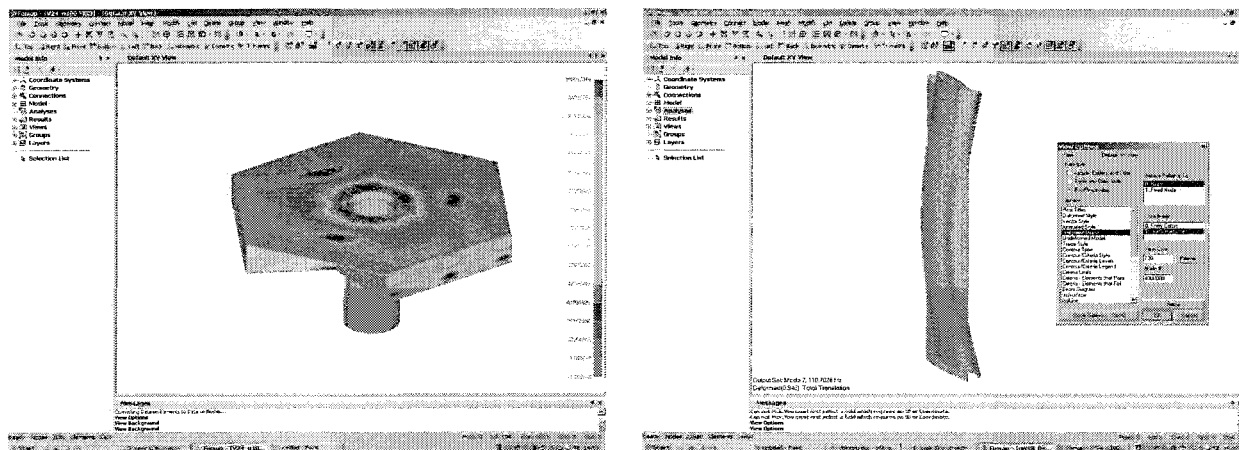


Рис. 4. Конечно-элементные модели ступицы ротора и лопасти ВЭУ в NASTRAN (показаны примеры состояний)

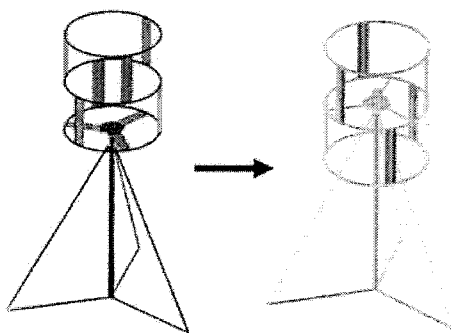


Рис. 5. Изменение конструкции в процессе исследования

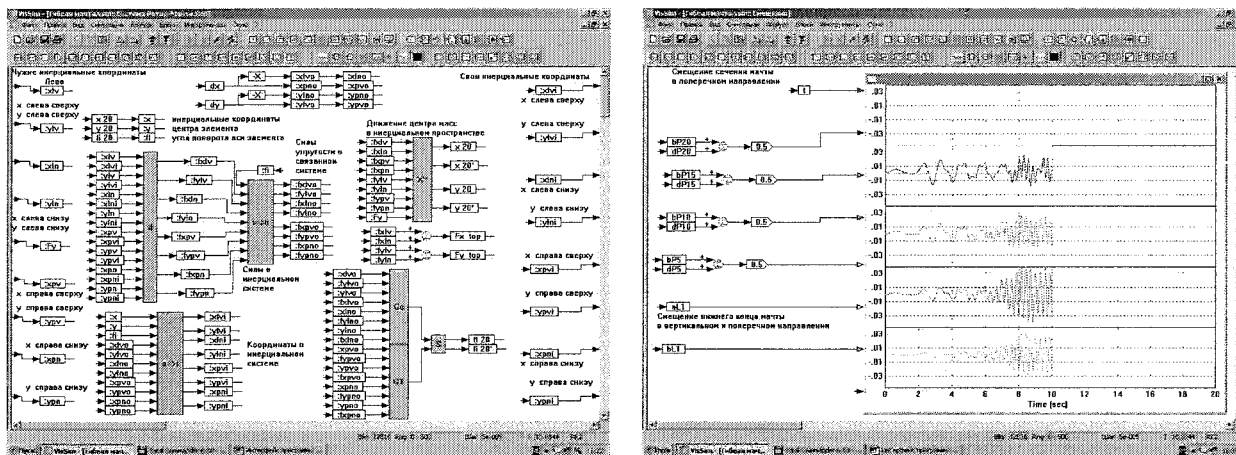


Рис. 6. Пример интерфейса среды VisSim и содержание функциональных блоков

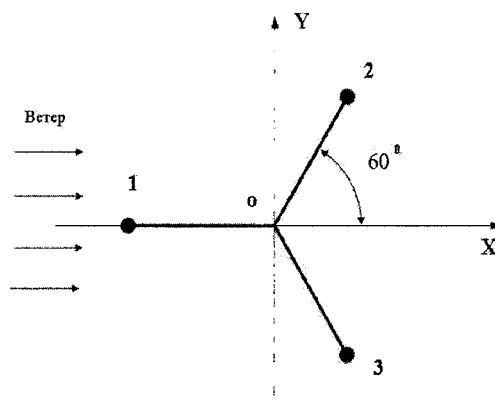


Рис. 7. Схема воздействия ветра на ВЭУ и размещения крепления растяжек мачты ВЭУ

VisSim на предмет возникновения резонансов колебаний компонентов конструкции с учетом того, что основными факторами, вызывающими вибрации ВЭУ, передающиеся на фундамент, являются:

- аэродинамические силы, действующие на ротор ветроколеса;
- аэродинамические моменты, действующие на ротор ветроколеса;
- периодические инерционные моменты, обусловленные наличием у ротора не нулевых центров масс инерции;
- периодические инерционные силы, обусловленные смещением центра масс ротора от оси вращения.

В созданной программе «Ротор – гибкая мачта» формульные зависимости представлены в виде структурных схем, что обеспечивает наглядность и лучшее восприятие связей между переменными задачи (рис. 6).

Моделирование силового воздействия ВЭУ на фундамент по схеме, изображенной на рис. 7, проведено при различных скоростях вращения ротора при условии воздействия наиболее сильного вероятного ветра на территории России 12 и 16 м/с. В процессе моделирования предпологалось, что ротор ВЭУ на выбеге проходит все возможные частоты враще-

ния под аэродинамической нагрузкой. Начальная частота вращения ротора задавалась 280 об/мин, что изначально превышает максимальную скорость вращения ротора ВЭУ (180 об/мин), стабилизируемую на практике за счет аэродинамических тормозов. На основании исследований модели ВЭУ получены зависимости колебаний сил и моментов, частотные спектры и вибросмещения компонентов. Пример колебательных законов вибросмещений показан на рис. 8.

Анализ силовых воздействий проведен способом разложения действующих негармонических колебаний сил, моментов и вибросмещений в ряд Фурье с получением соответствующих спектров частот. На основании спектрального анализа сделаны выводы, на каких частотах вращения ротора ВЭУ ожидается резонанс, получена его амплитуда и преобладающие частоты.

Из анализа полученных данных следует, что резонанс колебаний элементов ВЭУ (например, мачты) может вызываться как дисбалансом массы ротора, так и действием переменных аэродинамических сил. Снижение действия аэродинамического возмущения может быть осуществлено с помощью варьирования жесткостью мачты. При этом резонансы, вызываемые аэродинамическими си-

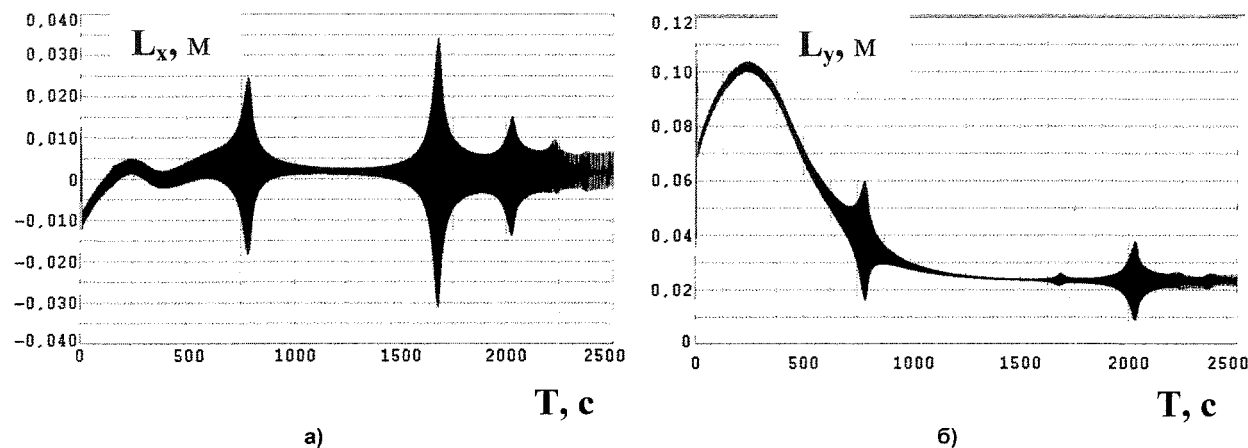


Рис. 8. Смещение верхнего (а) и нижнего (б) конца мачты в горизонтальном направлении соответственно по осям $OX L_x$ и $OY L_y$ в зависимости от времени (показано в виде колебательного закона)

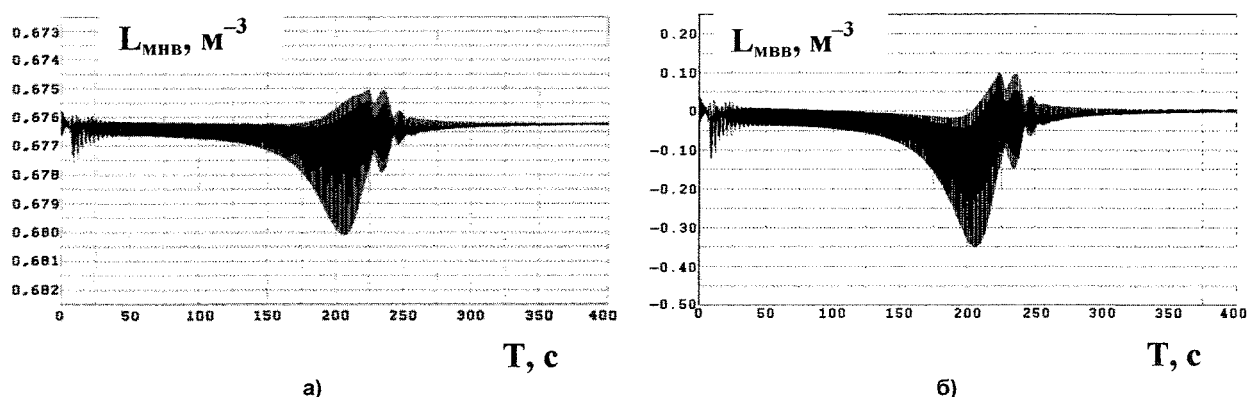


Рис. 9. Смещение $L_{мнв}$ нижней (а) и $L_{мвв}$ верхней (б) точек мачты в месте крепления соответственно к фундаменту и ступице в вертикальном направлении (мм) в зависимости от времени T (с)

лами, можно снизить до уровня, не требующего внимания, либо увести их в зону безопасных частот. Жесткость мачты определяется натяжением растяжек. Данный подход к определению резонансных частот дает возможность определения параметров комплектующих, удовлетворяющих условиям эксплуатации в составе ВЭУ. В результате варьирования материалом и жесткостью была применена мачта с низкой частотой собственных колебаний до 1 Гц. Это не исключило резонансов, но перевело их в область низких скоростей вращения ротора ветроколеса, что уменьшило нагрузки на растяжки и фундамент и сделало резонансные явления безопасными.

Таким образом, путем подбора материала мачты, а также диаметра и натяжения выпускаемых промышленностью тросов и многократного прогона математической модели в среде VisSim получено оптимальное соотношение параметров ротора и мачты.

Исследование вертикальных воздействий (в том числе вибро смещения упругой мачты) позволяет оценить воздействие ВЭУ на фундамент и мачты ВЭУ на ступицу (рис. 9). Вертикальное вибро смещение определяет вибрационную нагрузку на

фундамент и может служить начальной характеристикой для расчета влияния ВЭУ на конструкцию фундамента, а значит, и анализа воздействия вибрационных и шумовых колебаний на окружающую среду. В частности, при наличии вертикальных вибро смещений с частотой, совпадающей с собственной частотой фундамента (сооружения), необходим дальнейший анализ возможности размещения ВЭУ на данном фундаменте (сооружении) или грунте. Таким образом, на основе анализа вибро смещений и спектров силового воздействия с целью их регулирования (уменьшения, перехода в другие частоты) были выработаны рекомендации конструкторам по применению материалов компонентов ВЭУ, а также их размерам и архитектуре конструкции, которые позволят свести к минимуму уровень вибраций ВЭУ, вызываемых возмущающими аэродинамическими силами. Кроме этого, результаты вибрационных исследований могут служить базой для расчетов на удовлетворительность сооружений для размещения на них такого вибро динамического объекта, как ветроэнергетическая установка. Анализ вибро воздействий проводится на соответствие действующим стандартам и нормативам.

Поступила в редакцию 25 декабря 2009 г.

Научно-методический раздел

УДК 624.01

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КУРСА «СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ» СТУДЕНТАМИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В.А. Мусихин

INTEGRATED STUDY OF THE COURSE “ENGINEERING STRUCTURES” BY CONSTRUCTOR STUDENTS

V.A. Musikhin

Представлено теоретическое обоснование оптимизированной методики преподавания курса «Строительные конструкции» студентам строительных специальностей высших учебных заведений Российской Федерации. Рассмотрена методика преподавания курса «Строительные конструкции» с помощью теоретических отступлений (ТО).

Ключевые слова: фундаментальная наука, прикладная наука, специальная дисциплина, теоретические отступления, расчётно-теоретический пример, теоретические и эмпирические формулы, усвоение знаний.

Theoretical justification of optimizing methods of engineering structures teaching for constructor students of Universities in the Russian Federation is presented. The teaching methods of engineering structure course by means of theoretical digression are considered.

Keywords: fundamental science, applied science, theoretical digression, design-theoretical example, theoretical and empirical formulae, acquisition of knowledge.

Все науки содержат в себе две части: теорию и практику. Это как два конца одного магнита. Теория без практики мертва и бесполезна, а практика без теории не может найти пути развития. Если науку уподобить кораблю в безбрежном океане объективной реальности, то теория – это штурман, прокладывающий путь к цели, а практика – это гребцы на вёслах.

Все науки разные. Есть науки с преобладанием практики, например, медицина. Там практически нет чисто теоретических исследований, а есть в основном статистическая обработка эмпирических данных. Это логично, ведь исследуемые объекты сами приходят к врачам и сами заинтересованы в сборе данных о себе и своих болезнях, предоставляя врачам эмпирические данные для статистической обработки. Медицина – прикладная наука.

А высшая математика – фундаментальная наука. В ней преобладает теория и все формулы теоретические, их можно доказать логически. Практическое приложение высшей математики не всегда возможно. Как говорил математик и писатель Льюис Кэрролл: «Реальная жизнь – это кот без улыбки, это все видели. А высшая математика – это улыбка без кота, чтобы такое явление представить, нужно быть математиком».

Строительство – это наука одновременно и фундаментальная, и прикладная. В ней теория и практика слились в одно целое, как в стали сливаются железо и углерод. В одних разделах строи-

тельной науки (сопротивление материалов, строительная механика) больше теории, а в других (технология строительного производства, строительные материалы) – больше практики.

Многие строительные закономерности (процессы, явления) невозможно смоделировать чисто теоретически, а можно исследовать только опытным путём. И к теоретическим формулам добавятся эмпирические поправочные коэффициенты. Получается сложная комбинированная формула. Таким образом, в строительстве отделить теорию от практики и наоборот непросто. А при обучении студентов им нужно объяснить первооснову закономерностей (процессов, явлений). Их нужно научить отвечать на вопрос «почему так, а не иначе?».

Традиционная методика преподавания, принятая в высших учебных заведениях Российской Федерации, заключается в раздельном изучении теории и практики. Сначала читаются лекции по теории, а затем проводятся практические занятия, либо курсовое проектирование. Очень часто лекции и практические занятия проводятся параллельно, то есть может происходить опережающее изучение практики без наработанной теоретической базы (телега впереди лошади). Часто лекции и практику ведут разные преподаватели, которые по различным причинам слабо скоррелированы между собой. Бывает, что на практических занятиях преподаватель вынужден повторять некоторые разделы теории.

Таким образом, случается, что после теоретических лекций студенты воспринимают практические занятия как нечто отдельное, никак не связанное с теорией. По этой причине на экзаменах бывают парадоксальные ситуации. Например, студент хорошо ответил теорию (за счёт тренированной памяти), а в практике не понимает ничего, подставить числа и получить реальный результат для него невыполнимая задача. Или, наоборот, студент справляется с практическими примерами, а грамотно объяснить их не умеет, так как теорию понимает «смутно».

Жёсткое деление на «чистую» теорию и «чистую» практику, принятое в высшей математике, физике, теоретической механике и других фундаментальных науках, абсолютно не применимо в прикладной строительной науке. Студенты, прочувшись на первых курсах, часто плохо подготовлены к восприятию специальных дисциплин.

Для решения вышеописанной проблемы автор статьи, основываясь на своём опыте проведения практических занятий скоррелированных с лекционным (теоретическим) материалом, предлагает использовать в **практическом** примере расчёта и конструирования строительной конструкции **теоретические отступления (ТО)** [1, 2]. В результате получается **расчётно-теоретический пример**, который позволяет добиться целостного восприятия студентом курса «Строительные конструкции». При выполнении численных расчётов происходит системная корреляция с теоретическими постулатами через ТО, которые в доступной форме объясняют студенту различные закономерности и формулы.

У студентов строительных специальностей в конце семестра обычно 3–4 экзамена и 6–8 зачётов. По каждому предмету студент получает от преподавателя список литературы из нескольких наименований. Отдельные преподаватели, изучающие и преподающие свой предмет долгое время, могут выдать студентам список литературы, состоящий из пятидесяти наименований, где около двадцати источников представляют собой толстые учебники. Физически переработать такой объём информации невозможно даже самому здоровому и старательному студенту. Получив невыполнимую задачу, студенты не делают вообще ничего. Таким образом, предмет в личностном восприятии учащегося сразу перемещается в область «абсолютно непонятного». Процесс познания останавливается.

На рис. 1 показана триада по изучаемому материалу, предложенная известным педагогом С.Л. Соловейчиком.

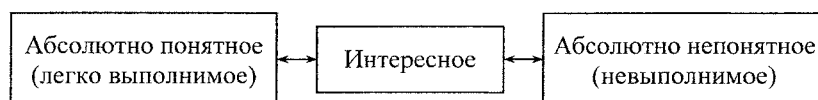


Рис. 1. Триада по степени субъективного восприятия изучаемого материала

Основной базовый учебник по курсу «Железобетонные конструкции» это учебник В.Н. Байкова [3] толщиной 767 страниц. Случается, что увидев этот учебник студент пугается и совсем его не открывает, опасаясь вообще не найти в нём нужный материал из-за колоссального объёма учебника и только зря потерять время на поиски. В этом учебнике даны практические примеры расчёта и конструирования различных железобетонных конструкций, но эти примеры представлены сплошным текстом (и числа, и формулы) без каких-либо пояснений и объяснений, откуда что берётся. При этом примеры и рисунки представлены с многочисленными опечатками, затрудняющими понимание. Рисунки и схемы в примерах настолько уменьшены, что понять их не всегда возможно. Разобраться в учебнике [3] очень трудно даже хорошо подготовленному кандидату технических наук, имеющему время для подготовки к учебным занятиям.

Общезвестно, что уровень общей подготовки студентов дневной, очно-заочной (вечерней) и заочной форм обучения может значительно различаться. Кроме того, студенты заочной формы обучения из отдалённых и труднодоступных районов РФ имеют возможность консультироваться у квалифицированного преподавателя только во время сессий (три раза в год). В процессе изучения курса «Строительные конструкции» неподготовленному студенту, ограниченному во времени, самостоятельно разобраться в примерах учебника [3] практически нереально.

Многие специалисты, имеющие обширный опыт учебно-методической и практической работы в области железобетона, сделали свои учебные пособия в дополнение к учебнику [3] для улучшения его слабых сторон. Примером такой работы может служить учебное пособие В.В. Габрусенко [4]. Оно содержит вопросы и ответы по основным разделам теоретической части курса «Железобетонные конструкции». Но в пособии [4] рассмотрены узкие вопросы теории без закрепления расчётными примерами. Без практических расчётов теоретические объяснения воспринимаются плохо. Пособие [4] полезно для опытных специалистов, желающих освежить и углубить свои знания в области железобетона. Студенты, начинающие своё обучение, могут использовать пособие [4] только в качестве дополнения к какому-либо расчётному примеру. Начинающие студенты нуждаются в постоянном закреплении теоретического материала.

В процессе любого обучения существует известная методическая последовательность (рис. 2).

После усвоения каких-либо знаний учащийся субъект с помощью своего преподавателя

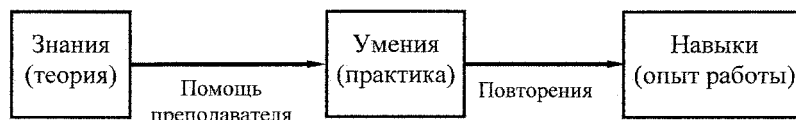


Рис. 2. Последовательность стадий обучения

нарабатывает умения. Умение – это способность применять теоретические знания в реальных (практических) примерах. После многократных повторений практических расчётов у обучаемого субъекта возникают навыки. Навык – это способность к быстрому (автоматическому, можно сказать бессознательному) применению теоретических знаний к объективной реальности, способность чётко выявлять (распознавать) в реальных (практических) примерах различные вариации, подходящие для использования под то или иное общее правило.

При использовании в обучении авторского **расчётно-теоретического примера** [1, 2], который позволяет достичь объёмного восприятия конструирования и расчёта строительной конструкции, происходит постоянный возврат от умений к знаниям (рис. 3). После выполнения практических расчётов происходит повторное изучение теоретических основ посредством ТО, которые в развёрнутой форме объясняют теоретические закономерности.

Предложенный автором **расчётно-теоретический пример** не является заменой базовых учебников. Авторские учебные пособия [1, 2] представляют собой демпфирующий слой (буфер) между студентом и базовыми учебниками (рис. 4).

Автор, потратив много времени на изучение теории железобетонных конструкций, легче ориентируется в базовых учебниках большого объёма. Автор пособия имеет возможность не торопясь, спокойно выбрать в океане информации нужный для изучения материал и указать его точное месторасположение. Таким образом, студент не тратит время на поиски нужной информации в раз-

личных учебных изданиях большого объёма, а сразу приступает к изучению нужного вопроса.

Практически в каждом ТО после авторского объяснения теоретического материала приводится ссылка на развёрнутую информацию объёмом 2...4 страницы в базовых учебниках. На указанных страницах теоретический материал из авторских ТО представлен более развёрнуто и обогащён пояснительными рисунками и схемами. Даже очень загруженному студенту прочитать несколько страниц несложно.

В некоторых ТО автор рассмотрел узкие места учебного материала, которые находятся на стыке теории и практики.

Каждое ТО в учебном пособии представляет собой «мост» от студента к какому-либо базовому учебнику. Наглядно этот тезис представлен на рис. 5.

Особое место в работах [1, 2] уделено генезису эмпирических формул. После изучения курса «Строительные конструкции» студент должен ясно понимать, как сложные эмпирические формулы в нормативно-технической литературе скоррелированы с базовыми (исходными) теоретическими формулами математики, физики, теоретической механики и сопротивления материалов.

В фундаментальных науках исследуются свойства и характеристики **идеализированных** конструкций, сделанных из **сплошных изотропных** материалов, работающих в **нейтральной** окружающей среде. Из реальной конструкции выкристаллизовываются её атрибутивные признаки, совокупность которых представляет собой **расчётную схему** (идеализированную конструкцию). **Формализация** – это процесс перехода от реального объекта к расчётной схеме (рис. 6).



Рис. 3. Последовательность стадий обучения (при наличии ТО)



Рис. 4. Место учебного пособия в системе обучения

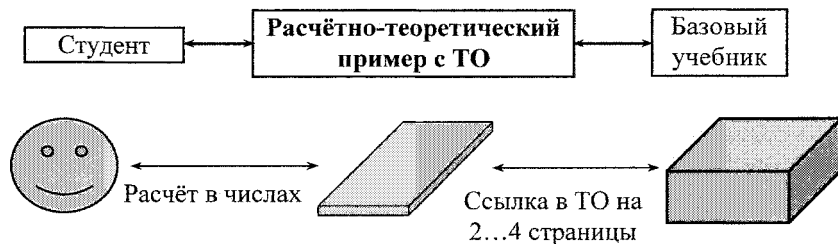


Рис. 5. Путь к базовому источнику знаний через учебное пособие

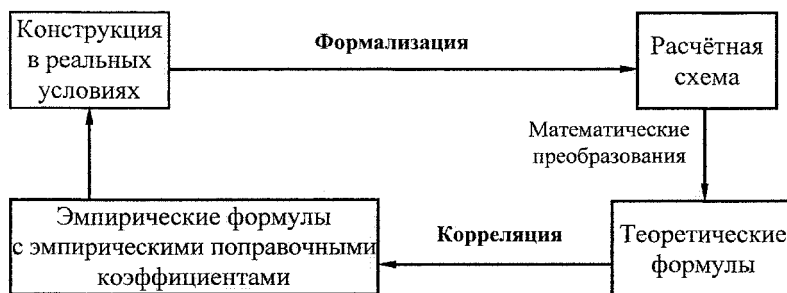


Рис. 6. Переход от реального объекта к расчётной схеме и обратно

Имея расчётную схему, можно использовать математический аппарат для решения прикладных задач. Все формулы для расчётных схем выводятся логически с помощью математических преобразований. Получив расчётные теоретические формулы, мы возвращаемся к реальному объекту, и коррелируем полученные формулы к существующим особенностям реального объекта. **Корреляция** – это процесс перехода от расчётной схемы к реальному объекту (см. рис. 6).

В прикладной строительной науке производится учёт всех особенностей работы настоящих строительных конструкций, изготовленных из реальных строительных материалов, воспринимающих различные агрессивные внешние воздействия. Например, в железобетоне: длительность действия нагрузки, влажность окружающей среды, вид поверхности арматуры, наличие преднапряжения и т. д. В металлических конструкциях: наличие сварных швов, устойчивость (общая и местная), наличие рёбер жёсткости, наличие болтовых соединений и т. д. В деревянных конструкциях: порода древесины, направление усилия (вдоль или поперёк волокон), сучковатость, наличие нагельных соединений и т. д. В пластмассовых конструкциях: вид сварки (газо-воздушная или контактная), реологические свойства, химическая агрессивность окружающей среды и т. д.

Для практического учёта (корреляции) особенностей работы настоящих строительных конструкций, сделанных из реальных строительных материалов и находящихся в агрессивных средах,

к теоретическим формулам фундаментальных наук добавляются эмпирические поправочные коэффициенты. Студент должен чётко представлять, что в строительной науке полностью эмпирических формул очень мало. Практически все эмпирические формулы получены из теоретических формул, посредством добавления эмпирических поправочных коэффициентов.

Во всех нормативно-технических источниках после эмпирических формул часто приводятся допустимые границы выходного параметра (результата) этих формул, так называемые нижний предел и верхний предел (рис. 7).

Это делается с целью отсекаания различных флуктуаций. **Флуктуация** – это отклонение от среднестатистических значений выходного параметра, вызванное какими-либо необычными (ранее неизвестными) значениями входных параметров. Основным недостатком эмпирических формул заключается в том, что опытная исследовательская база для разработки эмпирических формул, точнее для подбора эмпирических поправочных коэффициентов, всегда конечна, то есть ограничена.

Обычно эмпирические формулы адекватно описывают напряжённо-деформированное состояние уже существующих в настоящее время конструкций, изготовленных из известных многократно проверенных строительных материалов.

Но строительная наука не стоит на месте, она постоянно развивается. Появляются новые композитные материалы и принципиально иные конструкции. И тогда при использовании старой эмпи-

$$\text{Нижний предел} < \text{Результат эмпирической формулы} < \text{Верхний предел}$$

Рис. 7. Ограничение результата эмпирической формулы

рической формулы может быть получен абсолютно неадекватный результат, то есть флуктуация.

Нижний предел и верхний предел, приводимые после эмпирической формулы, позволяют применять эту формулу максимально долгое время для самых разных случаев, появление которых возможно в процессе развития строительства.

Вникнув в теорию построения эмпирических формул, студент сможет понять, что **истина конкретна** (истина является таковой только при определённых условиях). У каждой строительной конструкции свои особенности работы, то есть свои эмпирические поправочные коэффициенты к базовой теоретической формуле.

Поняв диалектику конкретности истины, студент будет легче ориентироваться в своей будущей деятельности. Двух абсолютно одинаковых строительных объектов не существует. Даже у типовых зданий различаются рабочие характеристики, длина, место подсоединения различных коммуникаций (электроэнергии, водопровода, канализации). Под каждым зданием своя геологическая обстановка (состав грунтов, уровень грунтовых вод), в разных местностях различаются температура воздуха, вес снегового покрова, ветровое давление, солнечная инсоляция, количество осадков и т. д.

Главный принцип работы грамотного инженера: **«мысли глобально, действуй локально»**. Фундаментальные науки обеспечивают первую часть, а прикладные науки обеспечивают вторую часть этого правила.

Также использование ТО позволяет значительно повысить общее **информационное накопление** студента. **Накопление** в системе получения знаний означает получение знаний сверх того объёма, который необходим для непосредственного практического использования в сложившихся в настоящее время видах специализированной узкопрофессиональной деятельности.

История развития мирового научно-технического прогресса показывает, что фундаментальная наука обычно развивается быстрее прикладной науки. Это опережающее развитие создаёт задел для будущего прикладного применения тех фундаментальных знаний, использование которых сегодня не представляется возможным в силу различных причин.

В современной системе качественного высшего образования **накопление** общих знаний должно значительно превышать тот минимальный объём,

который предназначен для непосредственного обеспечения узкой специальности. Таким образом, создаётся задел для будущего профессионального развития и возможность для адаптации к новым условиям изменчивой объективной реальности.

По мнению автора, процесс современного обучения необходимо рассматривать как непрерывный подъём по бесконечной лестнице, ведущей вверх. При таком подъёме к вершинам знаний ТО – это «скоростные эскалаторы», помогающие студенту подняться в своём общем развитии и в своей профессиональной квалификации без непроизводительных затрат времени.

Выводы

1. Использование в процессе обучения **расчётно-теоретического примера** [1, 2] позволяет значительно повысить уровень общей подготовки студентов, а также углубить понимание студентами строительных специальностей специфических особенностей курса строительных конструкций.

2. Использование в учебном процессе **расчётно-теоретического примера** [1, 2] при обучении студентов специальностей ПГС и ПСМИиК повысило процент курсовых проектов, сданных в установленные сроки.

3. При использовании в процессе обучения авторских учебных пособий [1, 2] оптимизируется процесс самостоятельной работы студентов и, таким образом, повышается качество усвоения знаний, в особенности у иногородних студентов, которые не имеют возможности консультироваться с преподавателем постоянно.

Литература

1. Мусихин, В.А. *Расчёт и конструирование железобетонной пустотной панели сборного перекрытия: учеб. пособие* / В.А. Мусихин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 70 с.

2. Мусихин, В.А. *Расчёт и конструирование железобетонной ребристой панели сборного перекрытия: учеб. пособие* / В.А. Мусихин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 79 с.

3. Байков, В.Н. *Железобетонные конструкции. Общий курс: учеб. для вузов* / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

4. Габрусенко, В.В. *Основы расчёта железобетона в вопросах и ответах: учебное пособие* / В.В. Габрусенко. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 104 с.

Поступила в редакцию 8 февраля 2010 г.

Сведения об авторах

АСТАШКИН Владимир Михайлович, профессор кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения», д-р техн. наук, Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: эксплуатационная надежность строительных конструкций и инженерных сооружений, новые формы конструкций из пластмасс и технология их изготовления. Тел.: (351)2679329.

ASTASHKIN Vladimir Michailovitch is Professor at the Building Constructions and Engineering Works Department of South Ural State University, Dr. Sc. (Engineering). Research interests: maintainability of building constructions and engineering works, new forms of plastic constructions and technology their producing. Tel.: (351)2679329.

БАЙБУРИН Альберт Халитович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: разработка систем контроля качества. Тел.: (351)2679183; e-mail: tsp@susu.ac.ru

BAIBURIN Albert Halitovich is Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Building Technology Department of South Ural State University. Research interests: development of systems of quality control. Tel.: (351)2679183; e-mail: tsp@susu.ac.ru

БЕЛОБОРОДОВА Евгения Сергеевна, инженер кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: модифицирование магнезиального вяжущего различными добавками, использование техногенного сырья в производстве строительных материалов. E-mail: reason_174@inbox.ru

BELOBORODOVA Evgenia Sergeevna is an engineer at the Construction Materials department of SUSU. Research interests: magnesia cement inoculation with various additions, usage of anthropogenic raw material in building material production. E-mail: reason_174@inbox.ru

БОРИСОВ Андрей Олегович, инженер, преподаватель кафедры «Строительные конструкции, механика твердого тела», Тольяттинский военный технический институт. Область научных интересов: разработка и совершенствование способов усиления железобетонных конструкций и методов их расчета. Тел.: 89277846714.

BORISOV Andrei Olegovich, an engineer, a teacher at the Chair of "Building Constructions, Mechanics of Rigid Body" of Togliatti Military Technical Institute. Research interests: the working-out and improvement of the ways of reinforcement of reinforced concrete constructions and the methods of their calculation. Tel.: 89277846714.

ВАЛИАХМЕТОВА Жанна Фирдависовна, магистрант кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: новые формы конструкций из пластмасс и технология их изготовления. Тел.: (351)2679329.

VALIAKHMETOVA Ghanna Firdavisovna is an undergraduate student at the Building Constructions and Engineering Works Department of South Ural State University. Research interests: new forms of plastic constructions and technology of their producing. Tel.: (351)2679329.

ВАСИЛЬЕВ Юрий Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Прикладная математика», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: применение численных методов решения задач моделирования и оптимизации. Тел.: (351)2679043; e-mail: vasiljev@prima.susu.ac.ru

VASILIEV Yury Sergeevich, candidate of physical and mathematical science, associate professor of the Applied Mathematics department of South Ural State University. Research interests: application of numerical procedures to solving of problems of simulation and optimization. Tel.: (351)2679043; e-mail: vasiljev@prima.susu.ac.ru

ЗЕМЛЯНОВА Кристина Владимировна, магистрант кафедры «Строительные материалы и специальные технологии», СибАДИ. E-mail: kris-incognito@mail.ru

ZEMLIANOVA Kristina Vladimirovna is a candidate for a master's degree at the Building Constructions and Special Technologies Department of Siberian State Autoroad Academy. E-mail: kris-incognito@mail.ru

КРАМАР Людмила Яковлевна, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: исследование долговечности строительных материалов, физхимия процессов гидратации и структурообразования вяжущих веществ, материалы на основе магнезиальных вяжущих. E-mail: kramar-l@mail.ru

KRAMAR Liudmila Yakovlevna, Doctor of Engineering, Professor at the Construction Materials department of SUSU. Research interests: research of construction materials life duration, physical chemistry of aqutation and structure formation processes of binding materials, materials on the basis of magnesia cement. E-mail: kramar-l@mail.ru

ЛЯН ЭРГО, старший инженер, доктор Университета «Яньшань» по специальности механической техники, университет «Яньшань», г. Циньхуандао,

Сведения об авторах

провинция Хэбэй, Китай. Тел.: 86+15615466937; e-mail: liangerguo@mail.ru

LIANG ERGUO. He is a Senior Engineer, Dr. Sc. (Mechanical Technics) at Petroleum Engineering Institute of Yanshan University, Qinhuangdao, China. Tel.: 86+15615466937; Post code: 066004; e-mail: liangerguo@mail.ru

МУСИХИН Владимир Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: теория аналитического конструирования и прочностного расчёта стальных спиральных канатов с линейным касанием проволок, используемых в качестве предварительно напряжённой арматуры большепролётных железобетонных конструкций; методика обучения студентов курсу строительных конструкций на основе усовершенствованных расчётно-теоретических примеров проектирования. Тел.: 8(351)2679373.

MUSIKHIN Vladimir Arkadievich is Cand. Sc. (Engineering), associate professor of the Structural Steel and Engineering Structures Department of South Ural State University. Research interests: theory of analytic construction and strengthening estimation of steel helical ropes with linear wire contact, which are used as prestressed reinforcement for large-span concrete constructions, methods of engineering structure teaching students by means of advanced design-theoretical examples. Tel: 8(351)2679373.

МУСТАФИНА Юлия Маулитьяновна, студентка 5 курса кафедры «Прикладная математика», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: численные методы, теория приближения функций.

MUSTAFINA Yuliya Maulityanovna, 5-year student of the Applied Mathematics department of South Ural State University. Research interests: numerical procedures, function approximation theory.

ОРЛОВ Александр Анатольевич, аспирант кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: модифицирование магнезиального вяжущего различными добавками, использование техногенного сырья в производстве строительных материалов. E-mail: kosheen_s@mail.ru

ORLOV Alexander Anatolovich, postgraduate student at the Construction Materials department of SUSU. Research interests: retrofitting of magnesia cement with various admixtures, application of anthropogenic raw materials to production of construction materials. E-mail: kosheen_s@mail.ru

ПАНФЁРОВ Сергей Владимирович, аспирант кафедры «Системы управления и математическое моделирование», Миасский филиал Южно-Уральского государственного университета. Область науч-

ных интересов: моделирование процессов в сложных системах управления. Тел.: (351)2679144.

PANFEROV Sergey Vladimirovich, postgraduate student of the Control Systems and Mathematical Simulation department of the Miass branch of SUSU. Research interests: simulation of processes in difficult control systems. Tel: (351)2679144.

ПАРФЕНОВ Андрей Сергеевич, аспирант кафедры «Строительные материалы и специальные технологии», СибАДИ. E-mail: an750@mail.ru

PARFYONOV Andrey Sergeevich is a postgraduate student of the Building Constructions and Special Technologies Department of Siberian State Autoroad Academy. E-mail: an750@mail.ru

ПАСТУШЕНКО Иван Владимирович, аспирант кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» СибАДИ. E-mail: pastushenko.ivan@mail.ru

PASTUSHENKO Ivan Vladimirovich is a postgraduate student of the Building Constructions and Special Technologies Department of Siberian State Autoroad Academy. E-mail: pastushenko.ivan@mail.ru

САМОЙЛЕНКО Алексей Борисович, аспирант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты», Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Тел.: (3812) 653704. E-mail: kaf_igof@sibadi.org

SAMOYLENKO Aleksey Borisovich is a postgraduate student of the Engineering Geology, Bases and Foundation Engineering Department of Siberian Auto and Road Academy. Tel.: (3812)653704. E-mail: kaf_igof@sibadi.org

СОЛОМИН Евгений Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: ветроэнергетика, внедрение инноваций в условиях рыночной экономики. Тел.: (351)2679014.

SOLOMIN Eugeny Viktorovich is Cand. Sc. (Engineering), assistant professor of the Electrical Engineering Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: wind power, innovation implementation in the market economy conditions. Tel.: (351)2679014.

СУББОТИН Евгений Васильевич, директор ООО «ТОР-Спецзащита». Область научных интересов: работа строительных конструкций в агрессивных средах, новые формы конструкций из пластмасс и технология их изготовления. Тел.: (351)2679329.

SUBBOTIN Yevgeny Vasilievich is head of LLC "TOR-Spezzaschita". Professional interests: structural behavior in aggressive media, new shapes of plastic constructions and their production technology. Tel.: (351)2679329.

ТЕРЯНИК Владимир Васильевич, канд. техн. наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, механика твердого тела», Тольяттинский военный технический институт. Область научных интересов: разработка и совершенствование способов усиления железобетонных конструкций и методов их расчета. Тел.: 89608368971.

TERYANIK Vladimir Vasilyevich, is Cand. Sc. (Engineering), professor at the Chair of "Building Constructions, Mechanics of Rigid Body" of Togliatti Military Technical Institute. Research interests: the working-out and improvement of the ways of reinforcement of reinforced concrete constructions and the methods of their calculation. Tel.: 89608368971.

ТРОФИМОВ Борис Яковлевич, д-р техн. наук, профессор, советник РАН, заведующий кафедрой «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: повышение стойкости железобетонных конструкций путем регулирования структуры бетонов за счет модифицирования продуктов гидратации минерального вяжущего для увеличения их дисперсности и стабильности в условиях агрессивного воздействия внешней среды. E-mail: tbya@mail.ru

TROFIMOV Boris Yakovlevich is Dr. Sc. (Engineering), Professor, councillor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Construction Materials department of SUSU. Research interests: enhancement of reinforced concrete structures endurance with regulation of concrete structures due to retrofitting of magnesia cement aquation products to increase their dispersity and stability in conditions of environment attack. E-mail: tbya@mail.ru

ЧЕРНЫХ Тамара Николаевна, доцент кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов: магнезиальные и сульфатные вяжущие и материалы, использование техногенного сырья в производстве строительных материалов. E-mail: chernyh_tn@mail.ru

CHERNYH Tamara Nikolaevna, Associate Professor at the Construction Materials department of SUSU. Professional interests: magnesia and sulfate cement and materials, application of anthropogenic raw materials to production of construction materials. E-mail: chernyh_tn@mail.ru

ЧУЛКОВА Ирина Львовна, профессор кафедры «Строительные материалы и специальные технологии», Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). E-mail: chulkova_il@sibadi.org

CHULKOVA Irina Lvovna is Professor of the Building Constructions and Special Technologies Department of Siberian State Autoroad Academy. E-mail: chulkova_il@sibadi.org

ШЕСТАКОВ Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты», Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). Тел.: (3812)653704.

SHESTAKOV Vladimir Nikolaevich is Dr. Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Engineering Geology and Foundation Engineering Department of Siberian Auto and Road Academy. Tel.: (3812)653704.

ТРЕБОВАНИЯ К ПУБЛИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

1. В редакцию предоставляется печатный вариант статьи и ее электронная версия (документ Microsoft Word), экспертное заключение о возможности опубликования работы в открытой печати, сведения об авторах (Ф.И.О., место работы, ученая степень, звание и должность, контактная информация (телефон, e-mail)).

2. Один автор может опубликовать в одном сборнике не более двух статей.

3. Структура статьи: УДК, название, список авторов, аннотация (не более 500 знаков), список ключевых слов, текст работы, литература (ГОСТ 7.1–2003). На отдельной странице приводятся название, аннотация, список ключевых слов и сведения об авторах на английском языке.

4. Параметры набора. Поля: зеркальные, верхнее – 23, нижнее – 23, левое – 22, правое – 25 мм. Шрифт – Times New Roman, кегль – 14. Отступ красной строки 0,7 см, интервал между абзацами 0 пт, межстрочный интервал – полуторный. Рисунки и схемы должны быть сгруппированы и иметь названия.

5. Адрес редакции научного журнала «Вестник ЮУрГУ» серии «Строительство и архитектура»: Россия, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, ауд. 612. Тел./факс (351) 267-91-71, ответственному редактору профессору Асташкину Владимиру Михайловичу, ответственному секретарю Кравченко Татьяне Александровне.

6. Полную версию правил подготовки рукописей и пример оформления можно загрузить с сайта ЮУрГУ (<http://www.susu.ac.ru>), следуя ссылкой: «Научная деятельность», «Вестник ЮУрГУ», «Серии».

7. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**ВЕСТНИК
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 33(209) 2010

**Серия
«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»
Выпуск 11**

Редактор Е.П. Новикова
Компьютерная верстка С.В. Буновой

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 24.09.2010. Формат 60×84 1/8. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 6,78. Тираж 500 экз. Заказ 385/662.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.