

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

***ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ***

Серия:

**Физико-химические проблемы
и высокие технологии
строительного материаловедения**

- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ
- ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
- МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ
- ПОЖАРНАЯ, АВАРИЙНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
- ОБРАЗОВАНИЕ И ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Выпуск № 2 (13)

2016 г.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Учредитель: ВГТУ (приказ министерства образования и науки РФ от 17.03.2016 №24, приказ ВГТУ от 29.08.2016 «О включении Воронежского ГАСУ в состав ВГТУ в качестве структурного подразделения», приказ от 22.09.2019 №А26 «Об издании Научных Вестников и научно-технических журналов»)

Председатель редакционного совета Научного вестника
канд. техн. наук, доцент С.А. Колодяжный

Редакционная коллегия серии:

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. О.Б. Рудаков
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.Т. Перцев
Зам. главного редактора – д-р хим. наук, проф. Е.А. Тутов
Ответственный секретарь – канд. хим. наук Е.Г. Давыдова.

Члены редколлегии:

Д-р техн. наук, проф. В.В. Белов (г. Тверь, ТвГТУ); д-р техн. наук; к.т.н., проф. В.В. Власов (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Гаркави М.С. (г. Магнитогорск, МГТУ им. Г.И. Носова); д-р техн. наук, проф. С.С. Глазков (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Ю.Г. Иващенко (г. Саратов, СГТУ им. Ю.А. Гагарина); д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ГПС МЧС России); д-р техн. наук, проф. В.И. Калашников (г. Пенза, ПГУАС); д-р техн. наук, проф. А.Д. Корнеев (г. Липецк, ЛГТУ); д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов, ДГТУ); д-р техн. наук, проф. Ю.В. Пухаренко (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ); д-р техн. наук, проф. Ш. М. Рахимбаев (г. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова); д-р хим. наук, проф. Г.В. Славинская (г. Воронеж, ВГТУ); д-р хим. наук, проф. В.Ф. Строганов (г. Казань, КГАСУ); д-р техн. наук, проф. И.С. Суровцев (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. А.А. Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Шитикова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. В.П. Ярцев (г. Тамбов, ТГГУ).

В серии публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников ВГТУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам физической химии строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химическим методам контроля качества материалов, применяющихся в строительстве; по экологии, пожарной и экологической безопасности строительных технологий и др.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедом, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурно-строительных и технических учебных заведений.

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419

тел.: (473) 2369350, (473)2717617

E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru

Воронежский государственный технический университет

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 691.54:620.3

О.В. Артамонова, В.Н. Кретинина, К.С. Мягких, Е.Ю. Гущина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА ПРИ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ

В статье представлены результаты изучения реологических характеристик модифицированного цементного камня. Модифицирование структуры цементного камня осуществлялось с использованием синтезированной комплексной нанодобавки (КНД) на основе наночастиц SiO_2 , стабилизированных суперпластификаторами. Установлено, что применение КНД позволяет снизить вязкость цементного теста в 1,5 раза по сравнению с немодифицированной цементной системой. Оптимальная дозировка КНД составляет 0,01 % от массы цемента.

Ключевые слова: вязкость цементного теста, наномодифицирование, наночастицы SiO_2 , комплексная нанодобавка, суперпластификатор

O.V. Artamonova, V.N. Kretinina, K.S. Myagkih, E.J. Gushchina

DETERMINATION OF THE VISCOSITY THE CEMENT PASTE AT NANOMODIFYING COMPLEX ADDITIVES

The article presents the results of studying the rheological properties of cement paste at modification. Modification of the cement stone structure was carried out with the use of synthetic complex nano-additive (CNA) on the basis of nanoparticles SiO_2 , stabilized superplasticizers. It was found that the use of CNA to reduce the viscosity of the cement paste by 1.5 times compared to non-modified cement system. The optimal dosage of the CNA is 0.01% by weight of cement.

Keywords: viscosity of the cement paste, nanomodification, nanoparticles of SiO_2 , complex nano-additive, superplasticizer

Введение. Исследование роли и значения наноразмерных частиц при модифицировании структуры цементных бетонов является важным этапом в создании строительных композитов нового поколения, а также в целом в развитии научных основ их материаловедения и высоких технологий [1].

Ранее установлено [1 – 3], что введение модифицирующей добавки на основе наноразмерных частиц (НРЧ) SiO_2 позволяет устранить дефектность структуры цементного камня за счет заполнения нанокремнеземом и продуктами его взаимодействия с минералами цементного клинкера микротрещин и микропор. При этом очень важно изучение эффективности применения КНД для регулирования реологических свойств и формирования конструкционного потенциала цементного камня в ранние сроки твердения.

Целью данной работы явилось определение вязкости модифицированного цементного теста комплексными наноразмерными добавками на основе SiO_2 , стабилизированными суперпластификаторами (СП).

В экспериментах исследовался цементный камень контрольного состава и модифицированных составов при варьировании дозировки КНД 0,1; 0,01; 0,001 % от массы цемента.

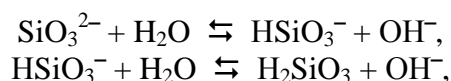
В качестве наномодификатора применялась синтезированная авторами КНД на основе наночастиц SiO₂, стабилизированных суперпластификаторами.

Экспериментальная часть. Синтез комплексных нанодобавок

В данной работе на первом этапе проводили синтез комплексных нанодобавок следующего состава: SiO₂ – СП Sika® ViscoCrete® 20 HE, SiO₂ – СП GLENIUM® ACE 30, SiO₂ – СП Sikament® FF.

Исходными компонентами для получения НРЧ SiO₂ являлись силикат натрия (Na₂SiO₃·5H₂O), марки ХЧ, ГОСТ 50418-992; соляная кислота (HCl), марки ХЧ, ГОСТ – 3118 – 77; дистиллированная вода, ГОСТ 6709; водопроводная вода; СП – Sika® ViscoCrete® 20 HE, СП GLENIUM® ACE 30, СП Sikament® FF.

В основе получения наночастиц гидратированных оксидов кремния из водных растворов их солей лежит создание условий, обеспечивающих гидролиз ионов и их дальнейшую поликонденсацию [4]. Реакция гидролиза силикат-ионов в водном растворе протекает по схеме:



причём, смещение равновесия которой зависит от pH среды.

В процессе синтеза необходимо достигнуть минимальной агломерации частиц, для чего в ходе эксперимента производилась стабилизация НРЧ SiO₂ суперпластификатором. Технологическую цепочку получения наноразмерных частиц SiO₂, можно разделить на следующие этапы: растворение исходной соли силиката натрия в воде, синтез наноразмерного золя SiO₂ методом обратного титрования, созревание полученной добавки (более подробно методика рассмотрена в работе). Методические условия реализации эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры золь-гель процесса синтеза комплексной добавки

№ п/п	Система	Прекурсоры						Условия синтеза		pH по окончании синтеза
		Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O		Кислота		СП		t, мин	T, °C	
		ω, %	m, г	моль/л	V, мл	V, мл	ω, %			
1	КНД-1: SiO ₂ – Sika® ViscoCrete® 20 HE	0,1	0,8606	0,05	62	0,7346	0,2	25	20	5
2		0,01	0,0861	0,05	62	0,7346	0,2	30	20	7
3		0,001	0,0086	0,05	62	0,7346	0,2	40	20	6
4	КНД-2: SiO ₂ – Sikament® FF	0,1	0,8606	0,05	62	2,02	0,2	30	20	6
5		0,01	0,0861	0,05	62	1,01	0,2	35	20	6
6		0,001	0,0086	0,05	62	0,51	0,2	40	20	7
7	КНД-3: SiO ₂ – GLENIUM® ACE 30	0,1	0,8606	0,05	62	2,57	0,2	35	20	7
8		0,01	0,0861	0,05	62	1,28	0,2	40	20	7
9		0,001	0,0086	0,05	62	0,64	0,2	45	20	7

Определение вязкости модифицированного цементного теста

На втором этапе проводили модификацию цементных систем полученными КНД и изучали их влияние на вязкость цементного теста и его реологические свойства. Для этого полученные КНД вводили в цементную композицию с водой затворения, при этом добавка равномерно распределялась в системе, за счет присутствия в ней суперпластификатора, который одновременно способствует также диспергированию цементных зерен. Были получены следующие типы образцов:

- 0 – контрольная система «Цемент – вода»;
- 1 – система «Цемент – Вода – Комплексная нанодобавка – 1»;
- 2 – система «Цемент – Вода – Комплексная нанодобавка – 2»;
- 3 – система «Цемент – Вода – Комплексная нанодобавка – 3».

Для определения вязкости цементного теста использовали вискозиметр типа РВ-8М. Устройство вискозиметра показано на рис. 1.

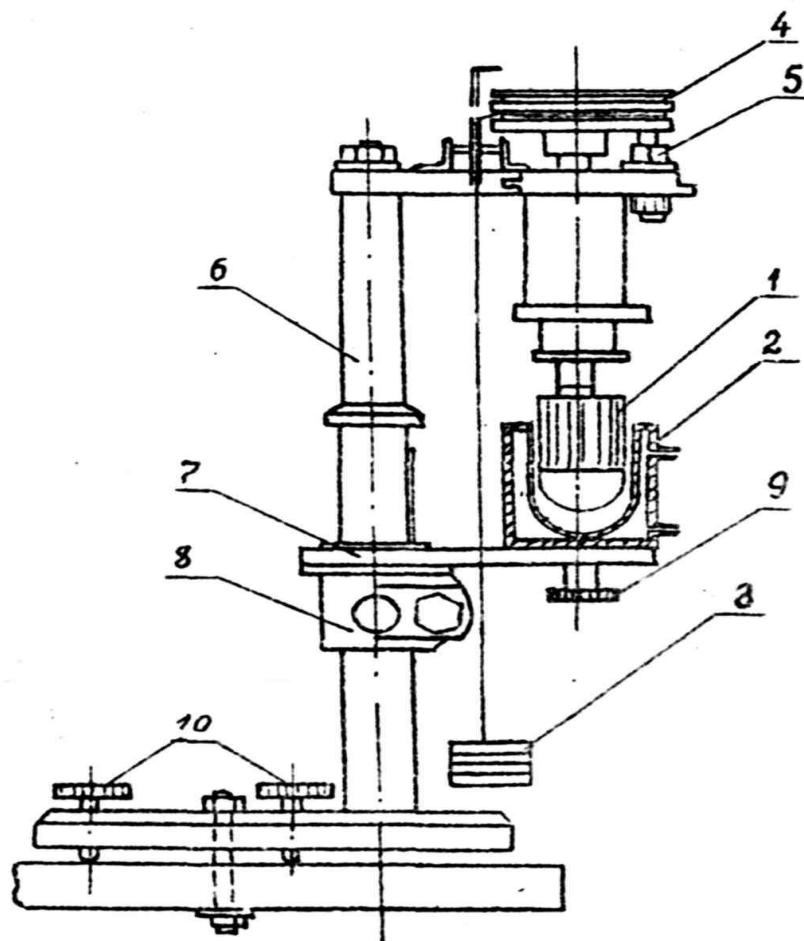


Рис. 1. Схема ротационного вискозиметра на РВ-8М.

- 1 - внутренний цилиндр; 2 - наружный цилиндр; 3 - падающие грузы; 4 - шкив; 5 - стопор; 6 - штатив; 7 - столик; 8 - подъемное устройство; 9 - крепежный винт; 10 - регулировочные винты.

Принцип определения вязкости на вискозиметре типа РВ-8М основан на измерении скорости вращения внутреннего цилиндра (2) при неподвижном внешнем (1) в испытуемого образца под действием определенного груза [6].

Перед проведением испытания необходимо оценить величину нагрузки холостого хода прибора. Для этого путем постепенного нагружения определяли минимальное значение груза P_0 , при котором внутренний цилиндр начинает вращение.

При определении вязкости испытуемый образец в количестве 15 – 17 мл загружали в наружный цилиндр, находящийся в крайнем нижнем положении. Наружный цилиндр с помощью подъемного устройства (8) приводили в рабочее положение и фиксировали с помощью винта (9). Избыток жидкости убирали. Установив минимальный груз (P) на блоке при условии $P > P_0$, освобождали шкив (4) со стопора (5). При этом создается крутящий момент, приводящий внутренний цилиндр в движение. Сопротивление вязкого трения образца передается валу внутреннего цилиндра и фиксируется временем его полного

оборота. Опыты повторяли 2 – 3 раза при различных значениях Р. Вязкость модельной жидкости (μ) в Па·с рассчитывают по формуле:

$$\mu = K \frac{P-P_0}{n} t \quad (1)$$

где К = 0,393 – константа прибора, Р – масса груза, г; n – число оборотов; t – время оборота, с; P₀ – масса груза, обеспечивающая холостой ход прибора, г

Экспериментальные результаты определения вязкости цементного теста для контрольной системы «0» (цемент-вода) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Определение вязкости контрольного образца

Эталон (цемент без добавок), В/Ц, %	Масса груза и чашек прибора Р, г	Длительность 2-х оборотов диска прибора t, с	Расчетное значение вязкости μ , Па·с	Среднее значение вязкости, Па·с
0,32	9	15,00	14,74	7,39
	11	1,53	2,11	
	14	2,70	5,31	
0,31	8	35,40	27,79	13,80
	10	6,21	7,32	
	12	4,00	6,29	

По результатам испытания было установлено, что оптимальное водоцементное отношение (В/Ц) составляет 0,32. Далее проводили определение вязкости для цементного теста с различными КНД и разной концентрацией НРЧ SiO₂ при В/Ц = 0,32.

Экспериментальные результаты определения вязкости цементного теста для модифицированных цементных систем представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения вязкостей цементного теста с комплексными нанодобавками

Цемент с добавками, В/Ц=0,32	Масса груза и чашек прибора Р, г	Длительность 2-х оборотов диска прибора t, с			Расчетное значение вязкости μ , Па·с			Среднее значение вязкости, Па·с		
		КНД-1	КНД-2	КНД-3	КНД-1	КНД-2	КНД-3	КНД-1	КНД-2	КНД-3
$w_{\text{НРЧ}} = 0,1$	11	4,50	3,75	2,80	6,19	5,16	3,85	4,73	4,29	4,44
	14	2,40	2,03	2,20	4,72	3,99	4,32			
	19	1,11	1,27	1,75	3,27	3,74	5,16			
$w_{\text{НРЧ}} = 0,01$	11	3,14	3,50	4,45	4,52	4,81	6,12	5,41	4,65	5,34
	14	1,75	2,42	2,49	5,44	4,76	4,89			
	19	1,35	1,49	1,70	5,98	4,39	5,01			
$w_{\text{НРЧ}} = 0,001$	11	4,06	3,11	3,70	5,58	4,28	5,09	5,27	4,21	5,28
	14	2,76	2,15	2,76	5,42	4,22	5,42			
	19	1,63	1,40	1,80	4,81	4,13	5,32			

Обсуждение результатов. Анализ экспериментальных данных показывает, что добавка 1 (СП Sika Visco® Crete® 20HE) влияет на вязкость только при низких дозировках $w_{\text{НРЧ}}(\text{SiO}_2)$. С уменьшением концентрации $w_{\text{НРЧ}}(\text{SiO}_2)$ вязкость увеличивается. При введении

добавки 2 (СП Sikament[®]FF) вязкость системы существенно возрастает, при этом показатель вязкости не зависит от дозировки $\omega_{\text{нрч}}(\text{SiO}_2)$. Добавка 3 (СП GLENIUM[®] ACE 30) позволяет постепенно увеличить вязкость цементного теста, что зависит от дозировки $\omega_{\text{нрч}}(\text{SiO}_2)$, т.е. чем меньше $\omega_{\text{нрч}}(\text{SiO}_2)$, тем больше вязкость. Добавки 1 и 3 ведут себя однотипно, т.к. основой обоих СП являются поликарбоксилатные эфиры.

Полученные экспериментальные результаты хорошо коррелируют с ранее полученными данными [5] по пластической прочности цементного камня в ранние сроки твердения. В данной работе было показано, что введение комплексной добавки, состоящей из НРЧ SiO_2 и суперпластификатора, замедляет процессы твердения в каждом случае, независимо от вида СП. В ранние сроки твердения (до 120 минут) пластифицирующий эффект добавок определяется изменением количества воды в сольватных оболочках на частицах цемента. В процессе адсорбции СП на поверхности твердой фазы количество воды сольватных оболочек уменьшается, а количество свободной воды возрастает. Таким образом, это ведет к улучшению реологических характеристик смеси, и именно в ранние сроки, несколько замедляет процессы структурообразования и твердения цемента.

Заключение. Установлено, что при одинаковом В/Ц применение КНД позволяет снизить вязкость цементного теста в 1,5 раза (таблица 3) по сравнению с контрольной немодифицированной системой, что создает условия для использования данных добавок для получения высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей.

Список литературы

1. Чернышов Е.М. Нанотехнологические исследования строительных композитов: общие суждения, основные направления и результаты // Нанотехнологии в строительстве. 2009. №1. С. 45 – 59
2. Артамонова О.В., Сергуткина О.Р. Строительные материалы: тенденции развития и перспективы // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. 2013. № 6. С. 13 – 22.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика – М. 1998. – 768 с.
4. Химия в строительстве / В.Б. Ратинов, Иванов Ф.М. – М.: Стройиздат, 1989. – 220 с.
5. Артамонова О.В., Верлина Н.А., Кретинина В.Н. Изучение процессов раннего структурообразования модифицированного цементного камня // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. 2016, выпуск 1(12). С. 3 – 8.
6. Шмитько Е.И., Коротких Д.Н., Мысков В.В. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов и изделий: лабораторный практикум / Воронеж. гос. арх.- строит. у-т.- Воронеж, 2007.- Т.2 (вопросы теории).- 61 с.

Артамонова Ольга Владимировна - к.х.н., доцент кафедры химии Воронежского технического университета.
E-mail: ol_artam@rambler.ru. Тел. 8(473) 2-71-76-17

Кретинина Виктория Николаевна - магистр строительного-технологического института Воронежского технического университета, группа М141.

Мягих Кристина Сергеевна - студентка строительного-технологического института Воронежского технического университета, группа Б3041.

Гущина Елена Юрьевна - ведущий инженер кафедры химии Воронежского технического университета.
E-mail: u00303@vgasu.vrn.ru. Тел. 8(473) 2-71-76-17

УДК 691.32

В.П. Ярцев, Е.И. Репина, Соуди Небрас И.Ю., В.В. Шеверда

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Изучено влияние наполнителей из техногенных отходов на основные эксплуатационные параметры мелкозернистых бетонов. Установлены оптимальные концентрации и размер зерен наполнителей. Предложена методика расчета значений длительной прочности бетонов для заданного срока эксплуатации.

Ключевые слова: мелкозернистые бетоны, твердые промышленные отходы, оптимальная концентрация, размер зерен наполнителя, длительная прочность, долговечность.

V.P. Yartsev, E.I. Repina, Soudi Nebras I.Y., V.V. Cheverda

THE EFFECT OF FILLERS FROM INDUSTRIAL WASTE ON THE STRENGTH AND DURABILITY FINE-GRAINED CONCRETE

The influence of fillers from industrial waste on the key operational parameters of fine-grained concrete is studied. The optimal concentration and the grain size of the fillers are installed. The proposed method and calculate the values of long-term strength of concrete for a specified period of operation.

Keywords: fine-grained concrete, industrial solid waste, optimum concentration, the grain size of the filler, long-term strength and durability.

Мелкозернистые бетоны используются при изготовлении тонкостенных конструкций, устройстве монолитных полов, в каменной кладке и т.д. По своим эксплуатационным характеристикам они не уступают бетонам, в состав которых входит крупный заполнитель. В отдельных случаях их применение оказывается более экономически целесообразным.

Одной из актуальных проблем в строительстве является повышение прочности и долговечности бетона. Решение этой проблемы во многом связано с составом бетона, количеством, размером и физико-механическими характеристиками различных наполнителей [1]. В качестве таких заполнителей целесообразно использовать многотоннажные отходы промышленного производства – неорганического стекла, асбоцементных изделий, керамзита, минеральных удобрений (фосфогипс). Вопросам их утилизации в настоящее время уделяется большое внимание в связи с нехваткой сырьевых ресурсов, их удорожанием и решением глобальной проблемы загрязнения окружающей среды.

При производстве удобрений образуются фосфогипсовые отходы (ФГ), состоящие более чем на 90% из двухводного гипса. При введении фосфогипсовых отходов в мелкозернистый цементно-песчаный бетон, его прочность увеличивается [2]. Эффективное содержание фосфогипса, в мелкозернистом бетоне по массе не более 70% от массы заполнителя.

Сухие асбестоцементные отходы (САЦО) вводили в гипсобетон. Наибольшее влияние наблюдается при 20% САЦО. Это выражается в увеличении прочности и уменьшении водопоглощения. При введении САЦО в цементно-песчаный бетон (ЦП), его прочностные характеристики так же улучшаются и достигают максимума при 33% САЦО [3].

Для повышения прочности в состав мелкозернистого бетона вводили отходы оконного стекла.

Стекло предварительно дробилось и распределялось по фракциям, путем просеивания через набор сит. По результатам исследований оптимальным составом являются образцы с 33%-м содержанием по массе [4], от фосфогипсо-песчаной составляющей, боя стекла с размерами зерен 0,63 мм.

Новым направлением в технологии мелкозернистых бетонов является дисперсное армирование. В качестве дисперсного армирования использовали стеклянные волокна марки ЕС13-840-ПА-6. Для выбора оптимального состава изготавливали образцы с 0, 5, 10, 15, 20, 25%-ным содержанием стекловолокна ЕС13-840-ПА-6 по массе. По результатам исследования оптимальным составом являются образцы с 15%-м содержанием по массе стекловолокна марки ЕС13-840-ПА-6.

Для изготовления образцов мелкозернистого бетона с заполнителем из промышленных отходов использовали портландцемент М500 и гипс Г4. Из бетонной смеси изготавливали образцы 20х20х20мм для испытаний на сжатие и 20х20х120 мм на поперечный изгиб. Количество отходов в массовых долях варьировалось от 2 до 100%. Размер зерен наполнителя от 0,32 до 40 мм.

Кратковременные и длительные испытания производили на специальных рычажных стендах в режиме заданных постоянных напряжений (σ) и температур (T). Постоянную температуру поддерживали с помощью накладной термокамеры. Во время испытаний фиксировали разрушающую нагрузку или время от начала нагружения до разрушения образца (τ). Результаты испытаний обрабатывали в координатах $\lg \tau - \sigma$ (см. рис).

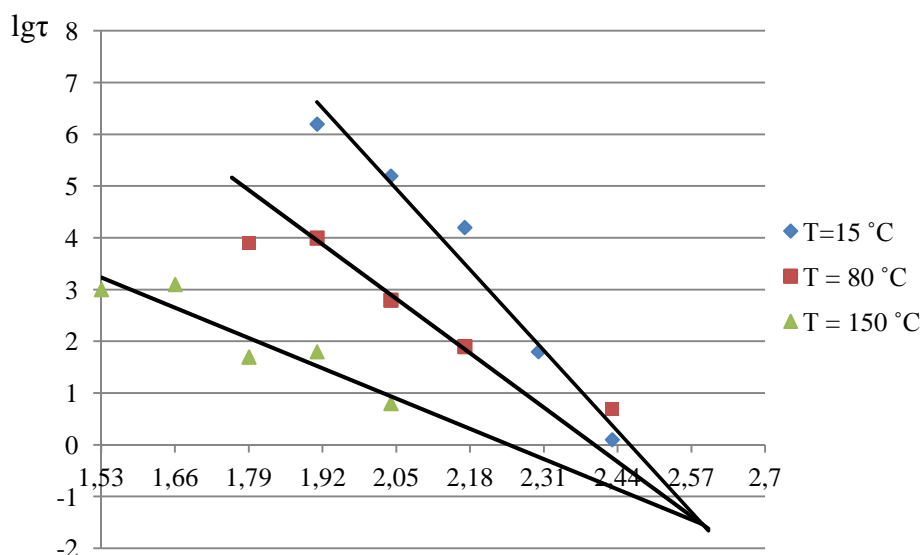


Рисунок. Зависимость времени до разрушения от напряжения для гипсобетона с САЦО

Из рисунка видно, что полученные зависимости представляют собой семейства веерообразных прямых и описываются уравнением [5]:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right],$$

где γ, τ_m, U_0, T_m – физические константы (γ – структурно-механическая константа, τ_m – минимальное время разрушения материала, U_0 – максимальная энергия активации разрушения, T_m – предельная температура существования материала, R – универсальная газовая постоянная).

Значения физических констант, рассчитанные графоаналитическим методом [5] представлены в таблице. Подставив значения констант в формулу можно рассчитать

долговечность или длительную прочность бетона в широком диапазоне основных эксплуатационных параметров – нагрузок, температур и времени до разрушения.

Таблица

Значения физических констант уравнения

Состав композиции	Вид испытаний	U_0 , кДж/моль	T_m , К	$\lg \tau_m$ [с]	γ , кДж/(моль*МПа)
Гипсобетон с САЦО					
Бетона с В/Г=0,5 САЦО:Г=0,2	Поперечный изгиб	319	645,16	0,0178	142,75
Гипсобетон с САЦО и добавкой керамзитовой крошки (КК)					
Бетона с В/Г=0,5 САЦО:Г=0,2 КК:САЦО=0,75	Поперечный изгиб	84	900,9	-1,48	17,46
Цементопесчаный бетон армированный стекловолокном					
Ц:ФГ-П= 1:3 В/Ц=0,5 15% стекловолокна	Поперечный изгиб	84	900,9	-1,48	17,46
Цементопесчаный бетон с добавкой боя стекла					
Ц:П= 1:3,5 В/Ц=0,5 33% стекла с размером частиц 0,63 мм	Центральное сжатие	98,1	-	-2,54	5,77
Цементопесчаный бетон с добавкой боя стекла					
Ц:ФГ-П= 1:3 В/Ц=0,5 33% стекла с размером частиц 0,63 мм	Поперечный изгиб	69,8	3067,48	-1,46	12,22
Цементопесчаный бетон с добавкой стекловолокна					
Ц:П= 1:3,5 В/Ц=0,5 15% стекловолокна	Поперечный изгиб	96,07	-	-2,6	19,88
Цементопесчаный бетон с добавкой САЦО					
Ц:П= 1:3,5 В/Ц=0,5 33% САЦО	Поперечный изгиб	45,6	3125	-0,32	13,9

В/Г - водогипсовое отношение, В/Ц - водоцементное отношение

Для примера рассчитаем длительную прочность гипсобетона с САЦО и добавкой керамзитовой крошки, задавшись долговечностью $\tau = 50$ лет и температурой эксплуатации $T=20^0\pm 3^0C$.

$$\sigma_{ор} = \frac{1}{\gamma} \left(U_0 - \frac{RT}{1 - \frac{T}{T_m}} \cdot \lg \left(\frac{\tau}{\tau_m} \right) \right) = \frac{1}{107,76} \left(364 - \frac{4,6 \cdot 4,2 \cdot 293 \cdot 10^{-3}}{1 - \frac{293}{546,5}} \cdot (9,2 - 0,0063) \right) = 2,068 \text{ МПа}$$

Таким образом, предельное напряжение изгиба не должно превышать 2 МПа. Полученные результаты (см. табл.) позволяют прогнозировать срок службы изделий из

мелкозернистого бетона с различными наполнителями при заданном силовом нагружении (вида нагружения и величины напряжения).

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов: учебное пособие для вузов / -М.: Стройиздат, 1974. 560 с.

2. Жданов А.Е., Пучин А.В., Ярцев В.П. Влияние многотоннажных отходов промышленности на прочность и долговечность мелкозернистого бетона / Состояние современной строительной науки – 2008: сб.науч.статей VI Междунар. научн.-практ. интернет-конф. Полтава. 2008. С.165-168.

3. Пучин А.В., Ярцев В.П. Влияние асбестоцементных отходов на прочностные характеристики мелкозернистых бетонов / Материалы и технологии XXI века: Перспективные материалы, их структура и свойства: сб.науч.статей VI Междунар. научн.-практ. конф. Пенза. 2007. С.33-35.

4. Ильин В.О., Жирков А.В., Ярцев В.П. Повышение прочности мелкозернистого бетона введением отходов стекла / Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб.ст. V Междунар.научн.-техн.конф. Пенза, 2006. С. 262-264.

5. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? - М.: Химия, 1992. 320 с.

Ярцев Виктор Петрович – д.т.н., заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета. E-mail: Jarcev21@rambler.ru. Тел.8(4752)63-03-80

Репина Елена Ивановна – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета. E-mail: rep-ka@yandex.ru. Тел.8(4752)63-03-80

Соуди Небрас И. Ю. – магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета

Шеверда Вадим Викторович – магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета

УДК 539.87

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 18ХГТ

А.А. Лукин, А.К.Тарханов, О.А. Лукин

Приведены результаты испытаний образцов из стали 18ХГТ на ударную вязкость и растяжение при комнатной и пониженной (77 К) температурах.

Ключевые слова: термическая обработка, ударная вязкость, хромомарганцевые стали, пластическая деформация, разрушение, твердость, структура, характер разрушения.

THE STUDY OF THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL ALLOY STEEL 18HGT

A.A. Lukin, A.K. Tarkhanov, O.A. Lukin

The results of tests of samples of steel 18HGT on the impact strength and tensile at room and low (77 K) temperatures.

Keywords: heat treatment, impact strength, chromomanganese steel, plastic deformation, fracture, hardness, structure, fracture properties.

Введение. Хромомарганцевые стали применяют во многих случаях вместо дорогих хромоникелевых. Однако эти стали менее устойчивы к перегреву и имеют меньшую вязкость по сравнению с хромоникелевыми. Недостатком этих сталей является склонность к внутреннему окислению при газовой цементации, что приводит к снижению твердости слоя и предела выносливости. Бор повышает прокаливаемость и прочность стали, но снижает ее вязкость и пластичность [1]. Наиболее распространенным направлением изменения свойств сплавов являются изменение химических свойств и рациональный выбор термической обработки [2].

Сталь 18ХГТ цементуют при 910 - 930 °С, закаливают с 870 °С с охлаждением в масло и подвергают отпуску при 180 - 200 °С. Конструкционная легированная сталь 18ХГТ (заменителями которой являются: 30ХГТ, 25ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН2М, 14ХГСН2МА, 20ХГР) используется в промышленности для изготовления цементуемых деталей ответственного назначения, от которых требуется повышенная прочность и вязкость сердцевины, а также высокая поверхностная твердость, работающих под действием ударных нагрузок. Химический состав стали 18ХГТ в %: С – 0,17 - 0,23, Si – 0,17 - 0,37, Mn – 0,8 - 1,1, Ni – до 0,3, S – до 0,035, P – до 0,035, Cr – 1 - 1,3, Ti – 0,03 - 0,09, Cu – до 0,3, Fe ~ 96:

марганец Mn повышает прочность, износостойкость, практически не снижая пластичность, а также увеличивает глубину прокаливаемости стали при термической обработке;

сера S снижает ударную вязкость и пластичность, а также предел выносливости;

хром Cr повышает твердость, прочность, а при термической обработке увеличивает глубину прокаливаемости, положительно сказывается на жаропрочности, жаростойкости, повышает коррозионную стойкость;

никель Ni действует так же, как и марганец. Кроме того, снижает значение коэффициента линейного расширения;

азот N придает поверхности высокую твердость, износостойкость, устойчивость против коррозии и усталостную прочность;

медь Cu увеличивает коррозионную стойкость стали в атмосферных условиях и понижают порог хладноломкости.

Таблица 1

Физические свойства материала 18ХГТ.

T	$E \cdot 10^{-5}$	$\alpha \cdot 10^6$	λ	ρ
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³
20	2,11		37	7800
500	1,68	13,3	34	
800	1,29		29	

Таблица 2

Механические свойства при T=20 °С материала 18ХГТ.

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	Термообработка
-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-
Сталь	1520	1320	12	50	720	Закалка 850 ⁰ С, масло; отпуск 200 ⁰ С, воздух
Сталь	980	730	15	55	1130	Закалка 850 ⁰ С, масло; отпуск 200 ⁰ С, воздух

$E \cdot 10^{-5}$ - модуль упругости; α - коэффициент линейного теплового расширения; λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность материала; σ_b - предел прочности; σ_T - предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации); δ_5 - относительное удлинение при разрыве; ψ - относительное сужение; КСУ - ударная вязкость, определенная на образце с U-образным концентратором при комнатной температуре.

Твердость стали 18ХГТ после отжига (ГОСТ 4543-71) - НВ 10⁻¹ = 217 МПа.

Высокая ударная вязкость (более 20-80 Дж/см² у разных групп сплавов) характерна для: чистых по примесям, высокопластичных однофазных металлов и сплавов; гетерогенных по структуре сплавов с небольшим количеством избыточных фаз; гетерогенных по структуре сплавов с оптимальным размером и распределением избыточных фаз. Легирование чаще всего снижает ударную вязкость. Очистка от примесей, особенно приводящих к образованию хрупких избыточных фаз, повышает ударную вязкость.

Ограниченность вариантов используемой термической обработки для стали 18ХГТ позволила достаточно обоснованно предложить расширение интервала температур закалки и ее технологий [3].

Экспериментальная часть. Ударная вязкость – это сложная, комплексная характеристика, зависящая от совокупности прочностных и пластических свойств материала. Работа, затрачиваемая на пластическую деформацию и разрушение, определяется площадью под диаграммой динамического изгиба. Ее величина, следовательно, будет тем больше, чем выше пластичность и уровень напряжений течения на всем протяжении испытания.

Основным образцом по ГОСТ 9454-78 служит стержень с квадратным сечением 10x10 мм и длиной 55 мм. В образцах Шарпи U-образный надрез наносится посередине длины. Он имеет ширину и глубину 2 мм и радиус закругления 1 мм.

При ударных испытаниях образцов с надрезом напряжения и пластическая деформации концентрируются в ограниченной части объема образца вокруг надреза. Именно здесь поглощается практически вся работа удара.

Испытания проводились на механическом маятниковом копре МК-30А (ГОСТ 9454-78 по Шарпи). Номинальное значение потенциальной энергии маятника 300 Дж, диапазон измерения энергии от 30 до 240 Дж.

Величина работы деформации и разрушения определяется разностью потенциальных энергий маятника в начальный и конечный моменты испытания.

Испытания на ударную вязкость можно проводить при отрицательных и повышенных температурах. Методика этих испытаний регламентирована ГОСТ 9455-78. Эксперименты при отрицательных температурах производят с использованием тех же образцов, что и при комнатной. Образец выдерживают в жидком хладагенте не менее 15 мин при температуре на 2–6⁰С ниже заданной, затем вынимают из ванны, устанавливают на копер и немедленно испытывают. Аналогичная методика используется при высокотемпературных испытаниях (ГОСТ 9454–78) [4]. Например, КСУ⁻⁸⁰150/3/5 – ударная вязкость, определенная на образце с U-образным концентратором при –80⁰С на копре с максимальной энергией удара маятника 150 Дж при глубине концентратора 3 мм и ширине образца 5 мм.

В целях выяснения влияния температуры нагрева под закалку на размер зерна был выбран определенный интервал температур от 900⁰С до 1200⁰С и исследована структура стали 18 ХГТ после медленного охлаждения от температур 900⁰С, 1000⁰С, 1100⁰С, 1200⁰С.

Результаты и их обсуждение. Отжиг при температурах 900 – 1100⁰С не приводит к заметному росту зерна, но твердость увеличивается. Однако высокотемпературный отжиг при 1200⁰С заметно увеличивает размер зерна с № 5 до № 3 и снижает твердость стали (таблица 3).

Таблица 3

Зависимость различных механических характеристик от вида термической обработки

Вид термообработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	S_K , МПа	КСУ, Дж/см ²	HRC
Закалка, 900 ⁰ С 10 мин в масло	962	1341	14	19	1589	10	44
Закалка, 1000 ⁰ С 10 мин в масло	1445	1588	15	47	2563	20	46
Закалка, 1100 ⁰ С 10 мин в масло	1198	1535	12	54	2819	70	43
Закалка, 1200 ⁰ С 10 мин в масло	1302	1491	10	47	2485	10	41
Закалка, 900 ⁰ С 10 мин в масло, обработка холодом	1080	1345	12	22	1643	10	29
Закалка, 1000 ⁰ С 10 мин в масло, обработка холодом	1363	1604	13	59	3398	80	41
Закалка, 1100 ⁰ С 10 мин в масло, обработка холодом	1119	1546	23	56	3071	110	41
Закалка, 1200 ⁰ С 10 мин в масло, обработка холодом	1107	1454	14	52	2649	20	42

$\sigma_{0,2}$ - условный предел упругости; δ - относительное удлинение; S_K - истинное сопротивление разрыву; HRC - твердость по Роквеллу.

Такое состояние структуры дало основание для попыток расширить круг закалочных температур в целях возможного повышения равномерности распределения легирующих элементов и повышения степени легированности твердого раствора. Было решено проверить влияние закалки с повышенных температур в масло на механические свойства материала.

Полученные значения по определению σ_b , $\sigma_{0.2}$, ψ , δ , S_K , HRC (таблица 3) позволяют сделать вывод, что повышение температуры нагрева под закалку от 900 °С до 1000 °С, дает возможность улучшить практически все механические характеристики (σ_b и $\sigma_{0.2}$ на 20 %, S_K на 60 %, ψ на 150 %, а HRC с 44 до 46 единиц), однако увеличение температуры до 1100 °С, дает дальнейшее возрастание только S_K и с некоторым их падением при температуре закали с 1200 °С.

Однако, сравнение с данными механических свойств полученных после закали по стандартному режиму (с 900 °С) показало, что только относительное удлинение при закали с 1100 °С и 1200 °С и твердость после закали с 1200 °С дали значения меньше, чем при температуре закали с 900 °С, а все остальные характеристики, все время остаются выше нежели после стандартной обработки с 900 °С.

Изменения свойств в зависимости от закалочных температур, наблюдались и при испытании образцов обработанных холодом, только в этом случае значения свойств выше, чем после закали с 900 °С, причем максимальные значения выявлены после закали с 1000 °С (таблица 3).

Анализ характера разрушения образцов закаленных в масло, показывает повышенную долю вязкой составляющей в изломе после закали с температур 1000 °С и 1100 °С в то время как проведение закали с 900 °С обеспечивает хрупкое разрушение, что сохраняется и для образцов обработанных холодом, когда явно хрупкий излом, в образце закаленном с 900 °С, заменяется на типично вязкий «чашка — конус» у образца закаленного с 1000 – 1100 °С.

Заключение. Металлографические исследования структуры показали заметное увеличение размера зерна лишь при температуре нагрева свыше 1100 °С. Установлено, что закали с 1000 °С обеспечивает наиболее высокое значение всех параметров, получаемых при испытании образцов на растяжение.

Выявлено изменение характера разрушения от хрупкого после закали с 900 °С и с 1200 °С до явно вязкого с типичной схемой разрушения «конус-чашка» после закали с 1000 °С и с 1100 °С.

По результатам металлографических исследований установлена близость структуры закаленной стали после всех видов закали с несколько большей четкостью проявления мартенсита при закали с 1000-1100 °С и уменьшением карбидных частиц с ростом закалочной температуры.

Исследования ударной вязкости показали значительное возрастание этого параметра после закали с 1000 - 1100 °С как в масло, так и с последующей обработкой холодом, причем сформированная путем такой закали структура после стандартного режима отпуска дает заметное повышение всех пластических и прочностных характеристик, что позволяет считать такой режим оптимальным.

Список литературы

1. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. Материаловедение. – М, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 632 с.
2. Шивандин Е.М. Склонность хрупкости низколегированных сталей. – М: Металлургия, 1983.
3. Нитцше К. Испытания металлов. – М: Металлургия, 1967.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М, «Машиностроение», 1990. 527 с.

Лукин Анатолий Александрович - к.ф.-м.н., доцент, кафедры материаловедения и физики металлов Воронежского технического государственного университета. E-mail: toto_luk@mail.ru

Тарханов Андрей Константинович - к.ф.-м.н., доцент, кафедры физики Воронежского государственного технического университета. E-mail: anvetkin@yandex.ru

Лукин Олег Анатольевич - к.ф.-м.н., доцент, кафедры экономики Московского института инженеров транспорта (МИИТ Воронежский филиал) ollukin@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 691.539.216

В.А. Миронов, В.В. Белов, П.В. Куляев

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Структура бетона оказывает большое влияние на прочность и деформативность бетона. Она весьма неоднородна и образуется в виде пространственной решетки из цементного камня, заполненной зернами заполнителя и наполнителя различной крупности и формы, пронизанной большим количеством микропор и капилляров, содержащих химически несвязанную воду, водяные пары и воздух. Для обеспечения большей однородности пространственной структуры бетона применяют различные методы, среди которых ультразвуковое воздействие является одним из наиболее эффективных методов.

Ключевые слова: дисперсные минеральные вяжущие системы, ультразвуковое воздействие, структура

V. A. Mironov, V. V. Belov, P. V. Kulyaev

APPLICATION OF ULTRASONIC PROCESSING FOR ACCELERATION OF STRUCTURIZATION OF CEMENT COMPOSITES

The concrete structure is known to largely effect the strength and strain in concrete. It is of much heterogeneity and presented as a spacious grid of cement stone, filled with aggregates and fillers of various grain sizes and forms, full of a great amount of micropores and capillaries with chemically unbound water, vapor and air. To ensure more homogeneity of spacious structure ultrasonic processing among other methods is now the most effective.

Keywords: the disperse mineral knitting systems, ultrasonic processing, structure

Изделия из композиционных материалов находят все более широкое применение в строительной практике. При этом важным вопросом в технологии цементных композитов является вопрос повышения их структурной прочности.

В современной отрасли строительной индустрии все шире применяется фундаментальная технология наноструктурирования. Наномодифицирование может выполняться различными способами: химическим – использованием особенностей реакционной способности отдельных элементов, механическим – использованием виброобработки, ультразвуковой обработки, электромагнитным – омагничиванием, обработкой электроразрядом и другими способами.

В настоящее время в технологии изготовления строительных материалов начинает применяться ультразвуковая обработка (УЗО). Она является эффективным методом воздействия на формовочные массы, активизируя процессы формирования структуры и изменяя необходимые свойства [1, 2].

Ультразвуковая обработка бетона может быть выполнена на различных стадиях технологического процесса: на стадии приготовления смеси, на стадии формования и на стадии твердения бетона. Ультразвуковая виброобработка цементного теста активизирует силы внутреннего сцепления между цементными частицами; это способствует формированию компактного пространственной взаиморасположения твердой фазы. Чем плотнее структура цементного камня, тем, при прочих равных условиях, выше его прочность и интенсивнее ее рост во времени.

В работе [3] приведены результаты исследования по установлению рациональных параметров УЗО для улучшения физико-механических свойств тяжелого бетона. Было установлено, что кубиковая прочность обработанных образцов на стадии твердения в 1,5 раза выше, чем у необработанных после стандартной выдержки в 28 суток. Однако эффект дополнительного упрочнения проявлялся в основном в поверхностных слоях, при этом с повышением водоцементного отношения глубина проработки значительно возрастала.

Рассмотрим процессы, которые возникают в образце при обработке его ультразвуком, повышающие физико-механические свойства. К ним можно отнести: кавитацию, которая вызывает диспергацию заполнителя и снижения сухих застоев; дегазацию, снижающую процент содержания в сырце газов; микроколебания частиц (микровибрирование), при явлении резонанса улучшается упаковка. С явлением кавитации связан процесс распространения ультразвуковых волн в текучих средах процесс образования полостей (пузырьков) в жидкости с последующим их захлопыванием, что сопровождается интенсивными гидравлическими ударами [4]. Вблизи захлопывающегося пузырька в жидкости могут возникать давления в несколько десятков тысяч атмосфер! Это может привести к разрыву химических связей и ионизации молекул газа. При увеличении вязкости жидкости возрастает ее прочность, что объясняется повышением интенсивности задаваемых ультразвуковых волн, которая обуславливает появление кавитационных пузырьков. Так для водопроводной воды минимальное значение интенсивности звука (частота 15 кГц), необходимой для возбуждения кавитации, равно 0,16-2 Вт/см². При этом процесс развития кавитации можно усилить введением различных веществ. Ряд исследователей считают, что в процессе развития кавитации разрушается жидкостная сетка, и нарушаются химические связи молекулярных структур, участвующих в образовании этой сетки.

Так как эффект кавитации связан с образованием пузырьков, то интересным является вопрос выяснения особенности проявления кавитации в ячеистых смесях – газобетоне и пенобетоне, объем пор (пузырьков) в которых может достигать 90 %. При этом надо учесть неоднородность распределения и размеров пузырьков в газобетоне и пенобетоне.

В зоне непосредственного воздействия ультразвука происходит наиболее полная диспергация зерен цемента и их гидратация, что характеризует белесый цвет цементного теста в этой зоне. Кавитация возникает в цементном тесте из-за пузырьков воздуха, причем каждой частоте колебаний соответствуют определенные размеры пузырьков. При этом мелкие пузырьки агрегируются, а более крупные дробятся на мелкие. На пути перемещения стоячей волны пузырьки достигают ее узла и перестают пульсировать, создавая преграду для распространения ультразвука, и в тоже время не сливаясь друг с другом из-за адсорбции ионов на поверхности пузырьков и контакта их с зарядами диполей воды. В связи с этим важно правильно выбирать режим УЗ обработки: при мощности источника ниже 150 ВА пузырьков практически не образуется, а более 1500 ВА жидкая смесь газобетона вскипает за 0,25 секунд, усиливая эффект гомогенизации, но аннигилируя эффекты мгновенной кавитации.

Для каждой бетонной смеси при принятых параметрах вынужденных УЗ колебаний существует определенное оптимальное время воздействия, которое можно установить, сравнивая результаты прочности затвердевшего бетона. С увеличением времени УЗ воздействия прочность бетона вначале возрастает, затем для жестких смесей остается постоянной, что связано с максимальным уплотнением смеси, для подвижных смесей при повышении оптимального времени вибрирования прочность начинает падать из-за их расслоения

Учитывая важность вопроса для современного строительства – необходимость повышения эффективности технологии изготовления бетонных изделий из легкого бетона, на кафедре ПСК ТвГТУ были выполнены исследования по оценке влияния фактора ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства неавтоклавного поризованного бетона. В нашем случае виброобработка осуществлялась на стадии приготовления смеси.

Для исследований готовилась газобетонная смесь, включающая портландцемент, кварцевый песок средней крупности, алюминиевую пудру, известь. После перемешивания и вспучивания через определенное время выполнялась ультразвуковая обработка. Для этого использовался ультразвуковой прибор «Ретона» с частотой задаваемых колебаний 130 кГц. Из приготовленной смеси формовались кубики стандартного размера 100×100×100 мм на виброплощадке с маятниковой подвеской. Твердение образцов осуществлялось в естественных условиях.

Полученные результаты исследования влияния ультразвуковой обработки на прочность газобетона представлены в таблице.

Таблица.

Результаты влияния ультразвуковой обработки на прочность газобетона

Использование ультразвука	Средняя плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности при сжатии $R_{сжс}$, МПа	Коэффициент конструктивного качества KKK
Без обработки	1300	2,7	0,21
С обработкой	1500	4,1	0,27

Как видно из таблицы, коэффициент конструктивного качества поризованного бетона, обработанного ультразвуком, оказался на 23 % выше бетона, не обработанного ультразвуком. Такой существенный рост прочностных показателей бетона можно объяснить структурными изменениями, в частности, за счет активации цементного теста и дополнительного структурного упрочнения в процессе непрерывного формирования микрообластей повышенного давления – кавитации от виброколебаний и объемного обжатия пузырьками окружающей структуры. Хотя при этом и происходит определенное повышение плотности системы, положительный эффект от ультразвуковой обработки бетонной смеси явно налицо.

В качестве основных выводов и научных предпосылок повышения эффективности ультразвукового воздействия на упрочнение формирующейся структуры бетона можно отметить следующие:

1. Наиболее эффективным методом ультразвукового воздействия является тот, который создает в растворе колебания с частотой, близкой по частоте с резонансными частотами применяемых частиц цемента, наполнителя и заполнителя.
2. Ультразвуковую обработку следует выполнять по определенному алгоритму изменения частот обработки, в зависимости от композиционного состава материала.
4. Повышение прочностных характеристик бетона в 1,2-1,5 раза указывает на высокую экономическую и техническую эффективность процесса УЗ обработки.
5. Заметное улучшение структуры бетона позволяет установить необходимость более точного определения полосы резонансных акустических частот.
6. Чтобы выявить максимальный эффект от использования УЗО в технологии изготовления легкобетонных изделий целесообразно оценить его комплексное влияние на всех стадиях технологического процесса: на стадии приготовления смеси, на стадии формования и на стадии твердения бетона.

В перспективе применение на практике ультразвукового воздействия может найти при получении всей гаммы бетонов – от обычных традиционных до многокомпонентных и высококачественных, как легких, так и тяжелых. Постепенный переход к более эффективным видам технологических воздействий при получении бетонов будет предопределен необходимостью достижения их более высоких качественных показателей, и соответственно большей конкурентоспособности на строительном рынке, большими возможностями в создании новых видов конструкций, всемерным снижением эксплуатационных затрат и инвестиционных рисков при строительстве сложных инженерных объектов.

Список литературы

1. Шахов, С.А. Физико-химические основы создания приборов для определения реологических характеристик формовочных масс активированных ультразвуком / С.А. Шахов, Т.Л. Рудая, Н.С. Ключникова // Международный сборник научных трудов: Проблемы качества строительных материалов и СМК предприятий. Новосибирск: НГАУ, 2011. С. 153-157.
2. Круглицкий, Н.Н. Ультразвуковая обработка дисперсных глинистых материалов / Н.Н. Круглицкий, С.П. Ничипоренко, В.В. Симуров, В.В. Минченко. Киев: Наукова думка, 1971. 200 с.
3. Абрамов, Л.М. Исследование влияния обработки ультразвуком сверхвысоких частот на структуру и прочность бетона / Л.М. Абрамов, Р.З. Цыбина // Вестник ТГТУ № 13, 2008. С. 346-348.
4. Эльпинер, И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / И.Е. Эльпинер. М.: Физматгиз, 1963. 420 с.

Миронов Вячеслав Александрович: ТвГТУ, президент, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов, E-mail: common@tstu.tver.ru.

Белов Владимир Владимирович: ТвГТУ, проректор по инновационному развитию, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, E-mail: vladim-bel@yandex.ru.

Куляев Павел Викторович: ТвГТУ, старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, E-mail: p.kuliaev@yandex.ru. Тел. каф. ПСК – (4822)78-81-55

УДК 666.94.002.35

О.Б. Кукина, С.С. Глазков, К.С. Загородных

СИНТЕЗ СТАБИЛИЗАТОРА С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОГРУНТА

В работе описывается синтез наноразмерной добавки и результаты исследований ее влияния на микроструктуру и свойства цементогрунта. Исследования проведены с использованием современных спектрометрических и микроскопических методов. Установлен характер структурных процессов, протекающих с участием модифицирующей добавки. Показана, что введение модификатора до 0,05 % обеспечивает рост прочностных показателей на 20-30 % и более высокую водостойкость цементогрунтовых систем.

Ключевые слова: стабилизатор, синтез, наночастицы, цементогрунт.

O.B. Kukina, S.S. Glackov, K.S. Zagorodnyh

SYNTHESIS OF STABILIZER WITH NANOPARTICLES AND THEIR INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF CEMENTGROUND

The paper describes the synthesis of stabilizer with nanoparticles and results of studies its effect on the microstructure and properties of cementground. The studies were conducted using modern spectrometric and microscopic methods. The nature of the structural processes that take place with the participation of the modifying agent. It is shown that the introduction of the modifier to 0.05% growth provides strength characteristics by 20-30% and higher water resistance tsementogruntovyh systems.

Keywords: stabilizer, synthesis, nanoparticles, cementground.

Введение. Современный этап развития строительного материаловедения требует использования многокомпонентных, многослойных, многоуровневых материалов с заданным набором свойств, отличающихся структурной и функциональной организацией для получения высокоэффективных строительных композитов. Реализация такого подхода может базироваться на современных принципах формирования структуры, включая наноразмерный масштабный уровень, характеризующийся наличием нанообъектов, которые в силу своей природы отвечают за дисперсионное упрочнение и релаксацию внутренних напряжений, избыточной величиной которых отличаются композиционные материалы. Выполнение данной задачи в настоящее время не представляется без использования эффективных наномодифицирующих добавок.

За последние 25 лет в качестве высокоэффективных модифицирующих добавок находят эффективное применение суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов. В то же время с развитием знаний в области нанотехнологий, среди различных химических добавок на первый план выходят комплексные добавки, содержащие зачастую активные/инертные наноразмерные компоненты.

Цементогрунт - это искусственный каменный материал, представляющий собой затвердевшую смесь грунта, цемента и воды. Монолитность цементогрунта обеспечивается в результате сложных физических, физико-химических и химических процессов, взаимодействия между его компонентами. На данные процессы могут оказывать влияние химические добавки различной природы, в том числе реакционноспособные полимеры и олигомеры, способные к структурированию на наноразмерном уровне [1, 2].

Вводимые в незначительных количествах они способны влиять на процессы твердения и изменять структуру и соответственно свойства цементогрунтов[3–5].

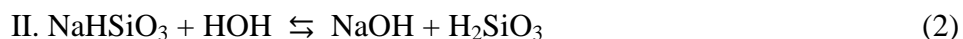
Экспериментальная часть работы включала следующие этапы.

1. Синтез добавки из исходных компонентов:

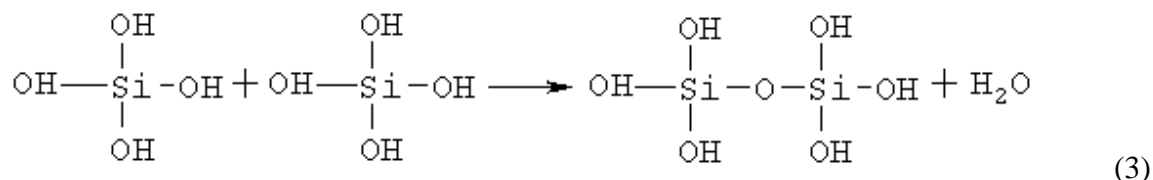
- дисперсия поливинилацетатная гомополимерная грубодисперсная – ГОСТ 18992-80, марка Д7Д 51/15 в (массовая доля сухого остатка 50-55 %);
- жидкое натриевое стекло – ТУ ГОСТ 13078-81 (массовая доля оксида кремния 27 - 30 %);
- хлорид кальция (CaCl₂);
- карбоксиметилцеллюлоза.

Для синтеза исследуемой наноразмерной добавки используется жидкое стекло, которое при гидролизе образует гель кремниевой кислоты, представляющей собой строительный клей, то есть вяжущий компонент.

Гидролиз метасиликата натрия:



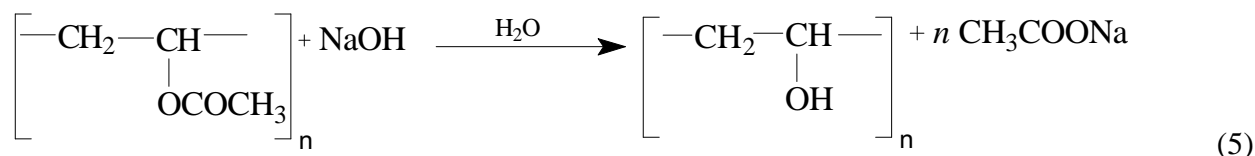
Образование геля кремниевой кислоты происходит по схеме:



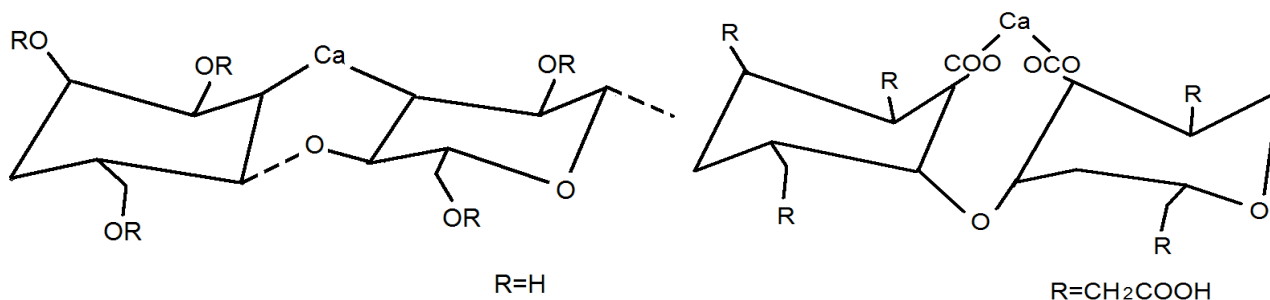
Также в жидком стекле имеются гидратированные ионы силикаты и гидросиликаты, которые со свободными гидратированными ионами Ca²⁺, присутствующие в водном растворе хлорида кальция образуют систему твердения CaSiO₃.



Из-за наличия жидкого стекла в системе, образующего при гидролизе гидроксид натрия, происходит щелочное омыление ПВА в ПВС по реакции:



Полимеризация КМЦ также может идти с образованием мостиков через ионы кальция, образуя следующие структуры:



2. Исследование размеров частиц в процессе синтеза добавки.

В ходе синтеза органоминеральной добавки на основе ПВА, происходит рост частиц новообразований.

Определение размеров частиц добавки и отдельно компонентов проводили на спектрометре динамического и статического рассеяния света Photocor Complex (Воронежский Государственный университет, Кафедра химии высокомолекулярных соединений и коллоидов). Для измерения размеров наночастиц использовался метод динамического рассеяния света (ДРС). Данный метод позволяет определить коэффициент диффузии дисперсных частиц в жидкости путем анализа корреляционной функции флуктуаций интенсивности рассеянного света. Далее, из коэффициента диффузии рассчитывается радиус наночастиц. Полученные размеры наночастиц представлены в таблице 1.

Таблица 1

Размеры наночастиц			
Компонент	Средний радиус частиц, нм	Состав	Средний радиус частиц, нм
Раствор ПВА	42.14		
Раствор жидкого натриевого стекла	97.85 6848	Раствор ПВА+жидкое натриевое стекло	61,5
Раствор CaCl ₂	266 3.3e+5	Раствор ПВА+жидкое натриевое стекло+CaCl ₂	226.6
Раствор КМЦ	2.674 114.7 671.2 4.4e+4	Раствор ПВА+жидкое натриевое стекло+ CaCl ₂ + КМЦ	212.8

Результаты, представленные в таблице 1 показывают, что в процессе синтеза наблюдается рост частиц, то есть происходит полимеризация с формированием структуры, причем структурирование добавки протекает за счет:

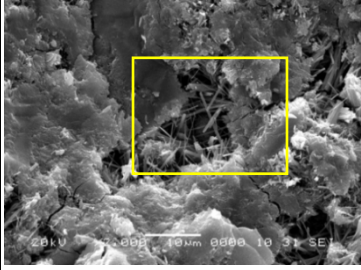
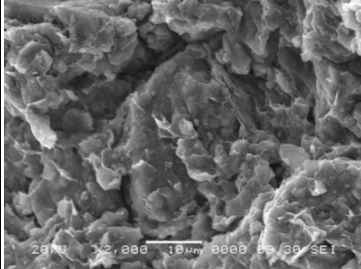
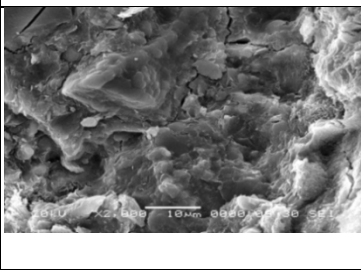
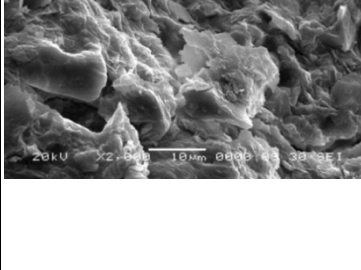
- а) образования геля кремниевой кислоты;
- б) агрегирования частиц SiO₂ за счет взаимодействия с ионами коагулянтами Ca²⁺;
- в) образовании пространственной структуры ПВС;
- г) увеличении вязкости системы при полимеризации КМЦ с образованием структурных мостиков через ионы Ca²⁺.

3. Микроскопические исследования композитов

В данной работе использовался электронный микроскоп марки JEOL (Воронежский Государственный Университет). Полученные данные и их описание представлены в таблице 3.

Таблица 3

Данные микроскопических исследований

Система твердения	Снимок	Описание	Предел прочности при сжатии образцов, МПа
1	2	3	4
Немодифицированный цементный камень		Структура представлена гидросиликатами кальция, гидроалюминатами и гидроферритами, сульфатами.	107
Немодифицированный грунт		Структура представлена частицами алюмосиликатов чешуйчатого строения	4
Немодифицированный цементогрунт		Преобладание алюмосиликатов (содержание ПЩ всего 10 %), наличие гидратированной фазы минеральных клинкеров.	8,7
Цементогрунт с добавкой 0,05 %		Цементогрунт также представлен алюмосиликатами, на поверхности которых начинается рост кристаллической фазы. Т.к. образование структуры цементогрунта идет с отдельной кристаллизацией минеральной части и твердением полимеров, то увеличение прочности связана с образованием ковалентных, ван-дер-ваальсовых связей.	9

1	2	3	4
Цементогрунт с добавкой 2 %		Структура представлена гидросиликатами, имеются волокна ПВС. Низкая прочность может объясняться наличием волокнистой гибкой структуры полимеров и примесей известняка.	5

Обсуждение результатов исследований. Добавление добавки ПС-2 в воду затворения цементогрунта в количестве 0,05 % увеличивает его прочность. Это может быть связано с получением оптимальной структуры, соотношением толщины контактной зоны, образования связей ван-дер-ваальсового порядка через взаимодействие ионов Ca^{2+} , коллоидных частиц глины и полимерной связующей. Находящиеся в растворе катионы-коагулянты Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} и др. сорбируются поверхностью коллоидных частиц кремнезема и, являясь мостикообразователями между частицами, преобразуют их в агрегаты.

Заключение. Разрабатываемый на кафедре химии Воронежского Государственного Технического Университета комплексный стабилизатор на основе ПВА ПС-2 содержит наноразмерные компоненты и может использоваться для повышения прочностных и других свойств цементогрунтов.

Список литературы

1. Глазков, С.С. Реакционноспособные олигомеры и полимеры для модификации энергетического состояния поверхности контакта в композиционных материалах / С.С. Глазков, Ю.М. Борисов, О.Б. Рудаков // Бутлеровские сообщения, 2011. Т.24. №3. – С. 78–82.
2. Глазков С.С. Стабилизация торцевой паркетной шашки с использованием эпоксидной смолы // Инженерно-строительный журнал. 2015. №7(59). С. 57–65.
3. Загородных К.С., Кукина О.Б., Глазков С.С., Черепяхин А.М. Исследование возможности применения комплексной добавки к цементу при стабилизации грунтов // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. № 1(12). 2016. С. 12-24.
4. Загородных К.С., Кукина О.Б. Анализ проблемы укрепления глинистых грунтов // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: студент и наука. Выпуск № 9, 2016. С. 55-63.
5. Артамонова О.В., Кукина О.Б., Солохин М.А. Исследование кинетики гидратации и набора прочности цементного камня модифицированного комплексной нанодобавкой // V международная конференция «Деформация и разрушение материалов и Наноматериалов» Сборник материалов Dfmm -2013. С. 638-640.

Кукина Ольга Борисовна, к.т.н., доцент кафедры химии Воронежского государственного технического университета. E-mail: lgkkn@rambler.ru. Тел. 89103452888

Глазков Сергей Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры химии Воронежского государственного технического университета. E-mail: glackov@mail.ru

Загородных Ксения Сергеевна, студентка института магистратуры Воронежского государственного технического университета, группа M051.

УДК 691.3

Л.В. Моргун, А.В. Виснап, В.Н. Моргун

ВЛИЯНИЕ РАСХОДА И ДЛИНЫ ФИБРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ С ФИБРОПЕНОБЕТОНОМ

Описан метод проведения эксперимента при оценке влияния длины и расхода фибры в фибропенобетоне на прочность сцепления матрицы с композитной арматурой. Результаты исследований позволяют сделать вывод о положительном эффекте применения композитной арматуры фибропенобетоне и возможности повышения сцепления арматуры с фибропенобетоном за счет введения дисперсной арматуры.

Ключевые слова: фибропенобетон, фибра, стеклопластиковая арматура, прочность сцепления.

L.V. Morgun, A.V. Visnap, V.N. Morgun

INFLUENCE OF EXPENDITURE AND LENGTH OF FIBER TO EFFICIENCY OF ADHESION FIBERGLASS REBAR WITH FIBER FOAM CONCRETE

The described method of the experiment in assessing the effect of the length and flow of fibers in the fiber-foam concrete on the strength of the coupling matrix composite reinforcement. The Results allow to conclude about positive effect of composite reinforcement the reinforced foam concrete. And also about opportunities to improve the adhesion of the reinforcement with the fiber-foam concrete with the introduction of the dispersed reinforcement.

Keywords: fiber foam concrete, fiber, fiberglass rebar, bond strength.

Введение. Снижение материальных и энергетических затрат при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений остается доминирующей проблемой строительной отрасли. В связи с этим, развитие производства ячеистого бетона, в том числе пенобетона неавтоклавного твердения как эффективного строительного материала, представляется весьма перспективным [1].

В связи с интенсивным развитием отечественного строительного комплекса, направленным на реализацию федеральных программ по обеспечению энергосбережения жилищного комплекса резко возросла потребность в эффективных материалах, которые отвечают требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Нормативы по теплозащите зданий приближают термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий в РФ к нормам Евросоюза (EnEV-2000) [2]. Актуальной стала проблема разработки и использования эффективных конструкционных материалов, отвечающих требованиям, как по прочности, так и по теплопроводности.

Известно, что газонаполненные материалы имеют качественное преимущество среди теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций [1, 4].

Некоторые части ограждающих конструкций кроме теплофизических свойств должны обладать и достаточными механическими. К таким материалам относятся конструкционно-теплоизоляционные фибропенобетоны плотностью 600...800 кг/м³.

1. Обоснование выбора направления исследования. Фибропенобетон является газонаполненным бетоном, пористость которого в зависимости от средней плотности составляет от 20 до 93% занимаемого объема.

В качестве материала для изготовления изгибаемых и растягиваемых строительных конструкций, целесообразно использовать фибропенобетоны пористость которых не превышает 50% их объема, то есть со средней плотностью 600 кг/м^3 и более. Исследованиями физико-механических свойств в зависимости от расхода полиамидной фибры занималась А.Ю. Богатина [3].

Согласно выполненным ею исследованиям фибропенобетоны со средней плотностью 600 кг/м^3 и выше, наилучшими конструкционными свойствами обладают при содержании дисперсной арматуры 1,5% от объема твердой фазы, т.е. примерно 3% по массе. При повышении средней плотности материала наблюдается тенденция к снижению процентного содержания фибры при достижении наилучших конструкционных свойств до 0,7% от объема твердой фазы. Отсюда следует, что соотношение механических свойств между фиброй и затвердевшим цементным камнем управляет эффективностью её использования в газонаполненных каменных материалах.

При изготовлении энергоэффективных ячеистобетонных изделий конструкционного назначения их армируют металлическими каркасами [8]. Известно, что металлическая стержневая арматура в таких конструкциях коррозионно неустойчива, поэтому нормативные документы [8] регламентируют специальную защиту стержневой металлической арматуры от коррозии в таких паропроницаемых материалах, какими являются ячеистые бетоны. Альтернативным материалом, способным воспринимать растягивающие напряжения в бетонах, является композитная арматура. Благодаря коррозионной и химической стойкости применение стержневой неметаллической арматуры на основе минеральных волокон (стеклянных, базальтовых, углеродных) в бетонах различного вида в настоящее время постоянно увеличивается [9].

2. Экспериментальная оценка влияния длины и содержания фибры на прочность сцепления фибропенобетона со стержневой арматурой. Опираясь на ранее проведенные научные исследования [6,7], о том, что вещественная природа стержневой арматуры влияет на прочность её сцепления с бетоном, нами был проведен эксперимент по оценке сцепления стержневой арматуры с фибропенобетоном с различным содержанием фибрового волокна длиной от 12 до 40 мм. Для проведения эксперимента были использованы следующие сырьевые материалы:

- портландцемент ПЦ 500 Д0 оценка качества которых осуществлялась по ГОСТ 310-76* «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Портландцемент имеет следующие свойства: нормальная густота цементного теста 26,6 % при В/Ц=0,488, сроки схватывания (начало-225 мин., конец-345 мин.);

- песок компании сухие строительные смеси «Стимул» фракция 0,315...0,63 мм, оценка качества которого осуществлялась по ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». Песок без органических примесей, с модулем крупности 1,25, насыпной плотностью в сухом состоянии 1,38 кг/л;

- пенообразователь "Ареком-4", который относится к группе белковых пенообразователей и отличается высокой пенообразующей способностью при малых расходах. "Ареком – 4", выпускается ООО "Декор-Строй" (г. Старая Русса) и предназначен для получения пены средней и высокой кратности.

- дисперсная арматура полипропиленовая компании ВСМ по ТУ 2272-006-1349727-2007 длиной 12 и 40 мм, диаметром 20...22 мкм, прочностью на разрыв 550 МПа, с модулем упругости не менее 10000 МПа;

- вода из водопроводной сети лаборатории, соответствующая ГОСТ 23732-79 «Вода для бетонов и растворов», не содержит вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента;

- стержневая арматура стеклопластиковая АКП-10, производителем которой является ООО «Московский завод композитных материалов», соответствующая металлической А III-

14, имеющая диаметр 10 мм, модуль упругости 55 ГПа, временное сопротивление при растяжении 1,2 ГПа.

Фибропенобетонная смесь изготавливалась лабораторном бетоносмесителе турбулентного типа емкостью 60 литров. Из неё были изготовлены образцы-кубы с ребром 100 мм конструкционного фибропенобетона плотностью $D700...800 \text{ кг/м}^3$ и содержанием фибры 0,5 %, 1%, 1,5% от массы цемента. Соотношение между песком и цементом в исследуемых материалах составляло 1:1, следовательно, объемное содержание фибры по отношению к твердым компонентам изменялось в диапазоне от 0,63% до 1,89%.

В ходе изготовления образцов арматурные стержни фиксировали в форме с помощью шаблона, поэтому оценку прочности сцепления арматуры с фибропенобетоном осуществляли методом продавливания (рис.1, 2).



Рис. 1. Фото испытаний прочности сцепления фибропенобетона со стеклопластиковой арматурой периодического профиля

Механические испытания осуществляли на поверенном гидравлическом прессе П-10 испытательной лаборатории кафедры «Строительные материалы».

Поскольку между механической прочностью материалов и прочностью их сцепления с арматурой периодического профиля существует корреляционная связь, было бы логично предположить, что она также будет зависеть от расхода и длины фибры. Экспериментальные исследования показали, что по мере насыщения пенобетонной смеси дисперсной арматурой прочность сцепления со стеклопластиковыми стержнями периодического профиля вначале растет, а потом незначительно снижается, что происходит из-за комкования фибры. В исследованном диапазоне длин фибры это снижение составляло от 2 до 5% (рис. 2).

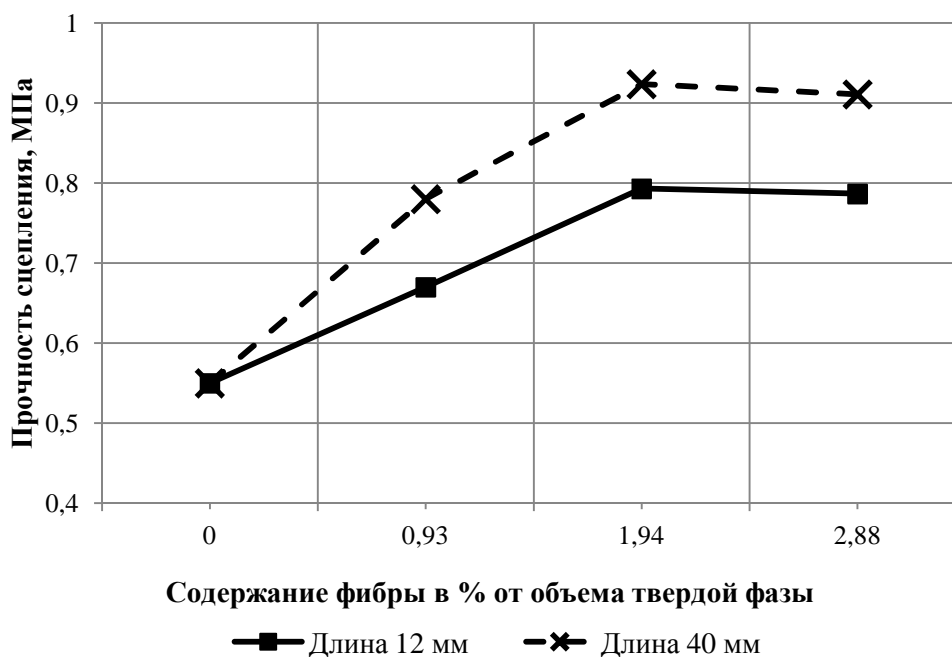


Рис. 2. Экспериментальная зависимость прочности сцепления стеклопластиковой арматуры с фибропенобетоном

Самым значимым фактором, управляющим величиной сцепления фибропенобетона со стеклопластиковой арматурой следует признать длину фибры (рис.2). В диапазоне длин от 12 до 40 мм разница в прочности сцепления составила 15...17%. Причиной столь существенного изменения прочности сцепления следует считать изменение характера распределения растягивающих напряжений в структуре дисперсно армированных материалов по сравнению с материалами, состоящими из дисперсного зернистого сырья.

Выводы:

1. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что применение композитной арматуры в фибропенобетоне является целесообразным, так как в отличие от металлической она не подвержена коррозии в паропроницаемых материалах.
2. Введение пенобетонную смесь дисперсной арматуры в рассмотренном диапазоне положительно влияет на прочность сцепления фибропенобетона с композитной арматурой периодического профиля.
3. Значительное влияние на сцепление фибропенобетона с композитной арматурой имеет длина фибры. Экспериментально установлено, что в фибропенобетонах, смеси которых изготовлены по одностадийной технологии в турбулентном смесителе, при содержании фибры около 2% от объема твердой фазы, прочность сцепления стержневой арматуры периодического профиля возрастает в на 37...42% по сравнению с равноплотным пенобетоном, не содержащим дисперсной арматуры. Насыщение смесей фиброй до 2,9% от объема межпоровых перегородок приводит к некоторому снижению эффективности влияния дисперсного армирования на прочность сцепления газонаполненного бетона со стержневой арматурой. Повышение длины фибры от 12 до 40 мм обеспечивает прирост прочности сцепления на 15...17%.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Король Е.А., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности (основы теории, методы расчета и технологическое проектирование): Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 320 с.
2. Пушкина В.В. Пенобетон на гипсоглиноземистом расширяющемся цементе // Строительные материалы №1. 2010. - С. 50-51
3. Богатина А.Ю. Конструкционные фибропенобетоны для зданий гражданского типа. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н., Ростов-на-Дону, РГСУ, 2005. – 267 с.
4. Войлоков И.А. Перспективы развития рынка теплоизоляционных материалов. Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий». С. 26-32.
5. Красникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ приготовления пенобетона // Известия Казанского государственного архитектурно - строительного университета. 2009. № 1 (11). С. 266 - 272.
6. Комохов, П.Г. Современные пенобетоны / П.Г. Комохов. – М. : Наука, 1997. – 284 с.
7. Костыленко К.И., Моргун В.Н. Стеклопластиковая арматура для пенобетона // Материалы международной научно-практической конференции "Строительство – 2012", - Ростов н/Д: Рост. гос. Строит. ун-т, 2012, - с.64-66.
8. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций. Справочное пособие к СНиП 2.03.01-84. М.: Стройиздат, 1991. – 69 с.
9. Хозин В.Г., Гизатулин А.Р., Куклин А.Н., Пискунов А.А. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном// Известия КГАСУ, 2013. №1 (23).- С.211-213.

Моргун Любовь Васильевна, д-р.техн.наук, профессор кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, 8 800 100-19-30
Email: konst-lvm@yandex.ru, visnap-antn@rambler.ru

Виснап А.В., аспирант кафедры «Строительные материалы»

Моргун Владимир Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Инженерные дисциплины» ФГБОУ ВО «Южный Федеральный университет», Email: morgun_vlad@bk.ru

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.315.592; 538.975

Е.А. Тутов, Д.Л. Голощачов, О.В. Артамонова

СОРБЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР С ДИЭЛЕКТРИКОМ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Методом диэлектрической спектроскопии исследованы электрофизические параметры цементсодержащих конденсаторных структур в условиях сорбции паров воды. Обнаружено повышение гидрофобных свойств портландцемента в результате его обработки парами солей четвертичных аммониевых оснований (триамина).

Ключевые слова: *портландцемент, четвертичные соединения аммония, адсорбционное модифицирование, гидрофобность*

E.A. Tutov, D.L. Goloshchapov, O.V. Artamonova

SORPTION AND CAPACITIVE CHARACTERISTICS OF CAPACITOR STRUCTURES WITH DIELECTRIC ON THE BASIS OF THE SURFACE-MODIFIED PORTLAND CEMENT

The electro-physical parameters of cement-containing capacitor structures are studied using dielectric spectroscopy under water vapor sorption conditions. Increase of hydrophobic properties of an ordinary Portland cement as a result of processing in vapors of quaternary compounds of ammonium (triamon) is revealed.

Keywords: *ordinary Portland cement, quaternary ammonium compound, adsorption modification, water repellency*

Введение. Минеральные дисперсные композиты, используемые для создания конструкционных материалов, представляют собой сложные гетерофазные системы, структура и свойства которых зависят от концентрации компонентов, размеров и формы дисперсных частиц, расстояний между частицами, количества и распределения жидкой фазы, а также внешних воздействий. Широкое применение на практике гетерогенных материалов и их использование в различных конструкциях предъявляют высокие требования к их физико-химическим характеристикам.

Цементный бетон - это искусственный строительный материал, полученный в результате затвердевания растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества (цемента), воды и заполнителя. В процессе твердения и формирования структуры цементного камня происходит химическое взаимодействие свободной воды с цементом, а также испарение влаги. Определение характеристик строительных материалов, влагосодержание которых может претерпевать значительные изменения, требует проведения исследований влияния влажности на их параметры [1-4]. Важное место в ряду экспериментальных методов изучения взаимодействия воды с дисперсной матрицей занимают электрофизические методы, в том числе различные варианты диэлектрической спектроскопии [5-8].

Эволюционное развитие понимания структуры как определяющего фактора в разработке высокоэффективных строительных композитов с совершенствованием качественной и количественной ее идентификации происходит в направлении от макро- через мезо- и микроструктуру и неизбежно дошло до наноструктурного уровня.

Научно-обоснованные принципы управления структурой на наноуровне являются основным и ключевым моментом в разработке высокотехнологичных модифицированных строительных композитов нового поколения. Возможных «нано»инструментов для создания высококачественных бетонов на сегодняшний день найдено уже довольно много, подходы эти весьма разнообразны, и они позволяют реализовать инновационные конструкторско-технологические решения [9].

Применение органических поверхностно-активных веществ (ПАВ) является эффективным способом модифицирования цементных смесей, влияющим на гидрофильно-гидрофобные характеристики компонентов и межфазные взаимодействия. Несмотря на значительное количество исследований роли ПАВ в формировании структуры и свойств цементных систем твердения, задача поиска эффективных, технологичных, экономичных и экологически безопасных пластификаторов является актуальной [10]. Одним из перспективных путей решения этой фундаментальной задачи представляется использование обработки сухих цементных смесей в парах ограниченно-летучих четвертичных соединений аммония (алкамона, триамона), эффективность которых в управлении поверхностными свойствами нанопорошков металлов не только теоретически обоснована, но и проверена на практике [11]. Четвертичные соли аммониевых оснований, являющиеся поверхностно-активными веществами катионного типа, достаточно широко используются в качестве смягчителя и антистатика в текстильном, трикотажном и деревообрабатывающем производстве. Применение триамона (химический состав выражается формулой $[(\text{HOC}_2\text{H}_4)_3\text{N}^+\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{SO}_3^-]$) для управления поверхностными свойствами цементных систем является новым.

Экспериментальная часть. В качестве объекта исследования был выбран портландцемент без добавок марки М500 D0 (ГОСТ 31108-2003). Из цементного порошка при давлении 300 бар. прессовалась таблетка диаметром 10 мм и толщиной 1 мм с оловянной фольгой в качестве верхнего и нижнего электродов. Электрофизические характеристики сформированных конденсаторных структур (емкость, сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь) измеряли в частотном диапазоне 12 Hz – 100 kHz с помощью LCR-метра (Goodwill-819), с усреднением по десяти измерениям.

Исследуемый образец помещали в герметичную измерительную ячейку, для удаления паров воды из которой использовали осушитель с гранулированным мелкопористым силикагелем. Требуемые значения относительной влажности p/p_s воздуха в ячейке задавали с использованием насыщенных растворов солей. Время установления стационарных состояний в процессах адсорбции – десорбции паров воды цементом составляло 24 часа.

Измерения проведены на образцах с исходным цементом, а также с цементом, выдержанным 24 часа в насыщенных парах триамона (ТУ 6-14-1059-83). Триамон, в отличие от алкамона, обладает хорошей растворимостью в воде, давление его паров оценивают, как $\sim 7 \cdot 10^{-4}$ Па. Все измерения проведены при температуре 295 К.

Как было показано ранее для широкой группы материалов [12-15], зависимость электрической емкости конденсаторных структур с гидрофильными диэлектриками от относительной влажности определяется количеством сорбированной воды и характером ее распределения в диэлектрике, поэтому зависимость емкости от относительной влажности $C(p/p_s)$ в этом случае имеет качественный вид изотермы адсорбции паров воды данным диэлектриком.

На низких частотах измерительного сигнала (рис.1) значительный вклад в величину электрической емкости дает перезарядка межфазных границ (эффект Максвелла – Вагнера), поэтому оценка значения эффективной диэлектрической проницаемости оказывается завышенной по сравнению с измерениями на высоких частотах [3].

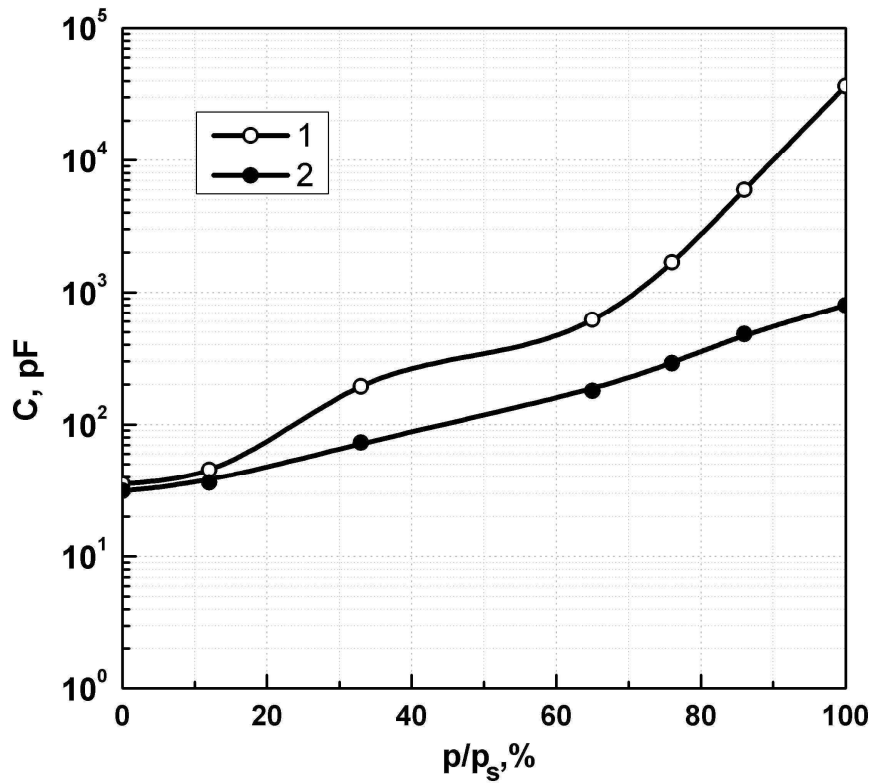


Рис. 1. Зависимость электрической емкости плоского конденсатора с цементом в качестве диэлектрика от относительной влажности для исходного (1) и поверхностно-модифицированного (2) портландцемента. Частота измерительного сигнала 200 Hz

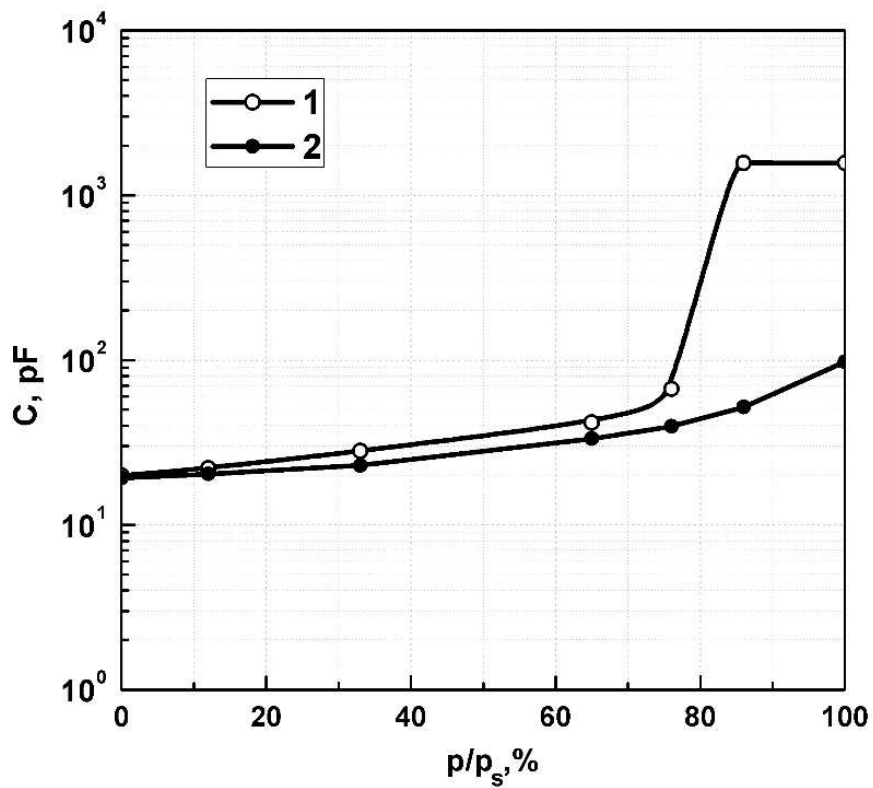


Рис. 2. Зависимость электрической емкости плоского конденсатора с цементом в качестве диэлектрика от относительной влажности для исходного (1) и поверхностно-модифицированного (2) портландцемента. Частота измерительного сигнала 10 kHz

На высокой частоте емкость определяется, в основном, количеством свободной воды в диэлектрике. На рисунке 2 представлена такая зависимость для портландцемента, измеренная до и после его обработки в парах триамина. Цемент незначительно сорбирует пары воды при относительной влажности до 75 % (моно- и полимолекулярная адсорбция), после чего на кривой $C(p/p_s)$ наблюдается существенный рост с выходом на насыщение при $p/p_s \geq 85$ %. Это может свидетельствовать о капиллярном механизме конденсации водяного пара в порах с характерным диаметром ~ 10 nm. Обработка цемента в парах триамина приводит к существенному повышению его гидрофобности. Электрическая емкость незначительно повышается до $p/p_s = 85$ %, оставаясь при стопроцентной влажности на порядок меньше, чем ее величина для необработанного цемента.

Таким образом, измерение электрической емкости конденсаторных структур с диэлектриком на основе цемента в условиях контролируемой влажности может быть полезно для предварительного анализа эффективности модификаторов строительных смесей.

О возможном электролизе воды при электрофизических исследованиях гидратированных диэлектриков. Измерение электрической емкости и/или проводимости структур с гидрофильными диэлектрическими (проводящими) слоями требует анализа влияния режима их включения и функционирования на распределение потенциала в структуре, пути и механизмы токопереноса. Одной из причин, влияющих на электрофизические параметры, может быть электролиз воды, сорбированной в слое диэлектрика, так как пороговое напряжение реакции разложения молекулы H_2O составляет всего 1,23 V. Возможность электролиза воды демонстрируют высокочастотные вольт-фарадные характеристики (ВЧ ВФХ) емкостного сенсора влажности с пористым кремнием, сформированным на пластине слабо и сильно легированного монокристаллического кремния (рис. 3 и рис. 4, по данным работ [16] и [17], соответственно).

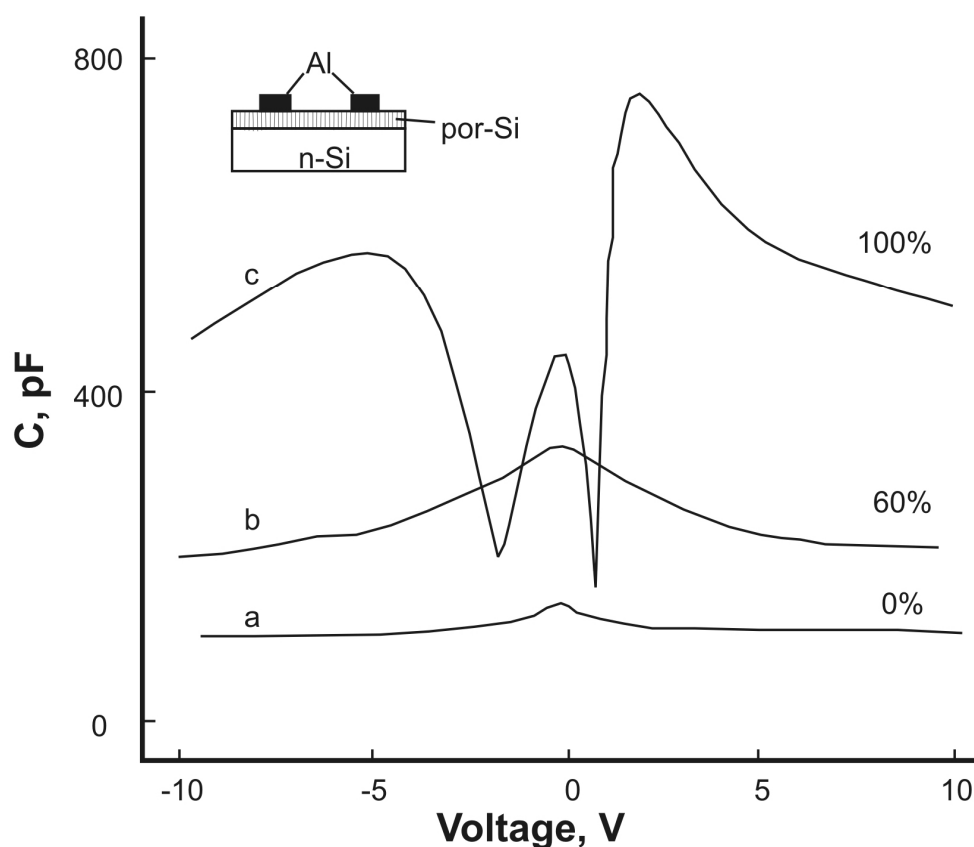


Рис. 3. ВЧ ВФХ структуры Al/por-Si/n-Si (кремний марки КЭФ-0,3) в зависимости от относительной влажности воздуха

При изготовлении сенсоров влажности по планарной микронэлектронной технологии используется различное включение конденсаторных структур – с "активной" и с "плавающей" кремниевой подложкой. Последний случай представляет особый интерес в связи с отсутствием в литературе и теоретических моделей вольт-фарадных характеристик для такой геометрии, и систематических экспериментальных данных.

ВЧ ВФХ структуры со слоем por-Si толщиной $10 \mu\text{m}$ и компланарным включением электродов приведены на рис. 3. Такое включение эквивалентно последовательному соединению двух МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) конденсаторов, шунтированных сопротивлением por-Si . При этом полярность включения конденсаторов противоположная, и емкость при любом смещении определяется емкостью области пространственного заряда в кремнии (ОПЗ) одного из конденсаторов (при $p/p_s = 0 \%$).

С ростом относительной влажности (кривая б) увеличивается эффективная диэлектрическая проницаемость слоя por-Si и емкость структуры. При $p/p_s = 100 \%$ ВФХ становится существенно неравновесной. Её сложный вид (кривая с) объясняется обратимым пробоем ОПЗ одного из конденсаторов при той или другой полярности смещения, в то время как в области нулевых смещений работают оба конденсатора.

ВЧ ВФХ конденсаторной структуры с пористым диэлектриком в случае сильно легированной полупроводниковой подложки приведены на рис. 4.

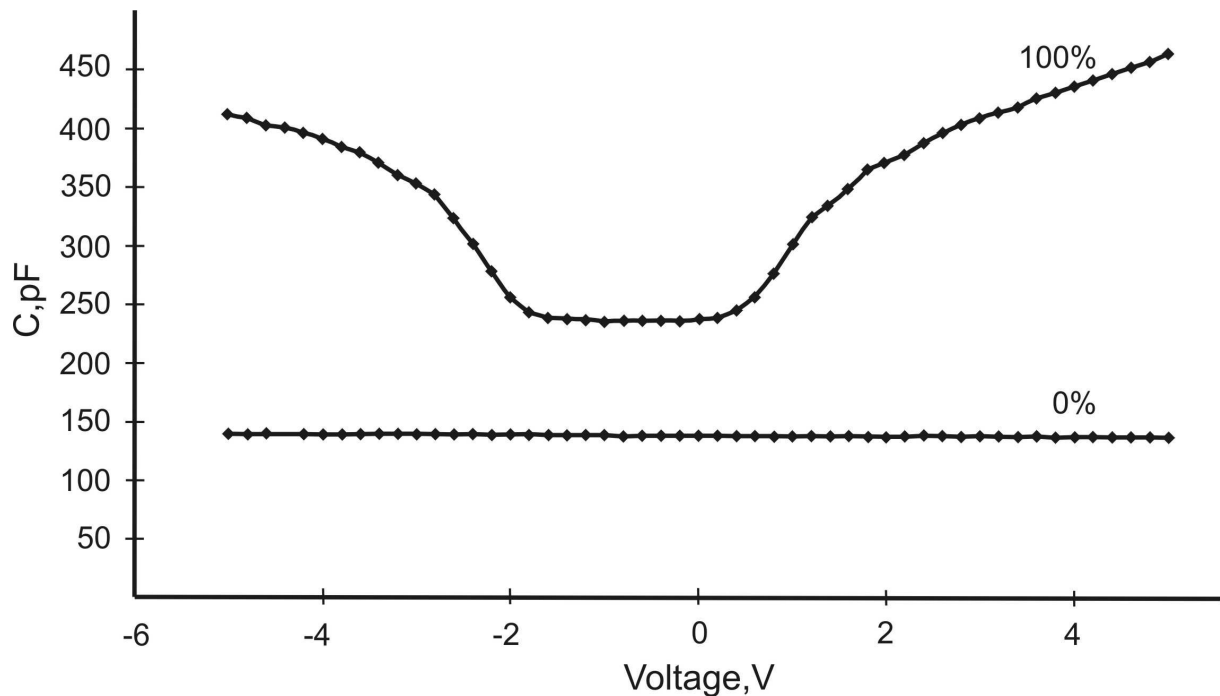


Рис. 4. ВЧ ВФХ емкостного сенсора влажности (кремний марки КЭС-0,01) при относительной влажности воздуха 0 % и 100 %

Отсутствие модуляции емкости при изменении напряжения смещения свидетельствует о падении потенциала на диэлектрическом слое пористого кремния. С ростом относительной влажности емкость этого слоя возрастает вследствие физической сорбции паров воды (в области напряжения смещения $\pm 1 \text{ V}$). При повышении постоянного напряжения на структуре наблюдается неравновесное увеличение емкости, что может быть вызвано электролизом воды и разделением продуктов диссоциации в электрическом поле. Как показано в работах [17, 18], взаимодействие пористого кремния с водой даже в отсутствие электрического поля сопровождается выделением водорода в ионной и атомарной формах. Возможность данного эффекта необходимо учитывать при выборе режимов функционирования и анализе отклика сенсоров влажности и резистивного типа.

Таким образом, результаты измерений электрофизических характеристик конденсаторных структур с гидрофильными диэлектриками могут в большой степени зависеть как от условий окружающей среды (в первую очередь от влажности), так и от параметров измерительной системы и геометрии эксперимента, определяющих напряжения на гетеропереходах и, следовательно, возможные пути и механизмы протекания тока.

Заключение

По электрофизическим характеристикам портландцемент незначительно сорбирует пары воды при относительной влажности окружающего воздуха до 75 %. При значениях относительной влажности более 85 % сорбция водяных паров может проходить по механизму капиллярной конденсации.

Обработка парами триамина приводит к значительному повышению гидрофобности портландцемента. Обнаруженный эффект может быть использован при промышленном изготовлении сухих строительных смесей.

Список литературы

1. Фурса Т.В. Исследование механоэлектрических преобразований в образцах цементного раствора в процессе трещинообразования, вызванного циклическим замораживанием-оттаиванием // Письма в ЖТФ. - 2010. - Т. 36, № 8. - С. 1-6.
2. Фурса Т.В., Суржиков А.П., Хорсов Н.Н., Данн Д.Д. Исследование влияния влажности на параметры механоэлектрических преобразований в бетонах // ЖТФ. - 2010. - Т. 80, № 9. С. 63-67.
3. Hu A., Fang Y., Young J.F., Oh Y.-J. Humidity Dependence of Apparent Dielectric Constant for DSP Cement Materials at High Frequencies // J. Am. Ceram. Soc. - 1999. - V. 82, - № 7. - P. 1741–1747.
4. Wu M., Johannesson B., Geiker M. Application of water vapor sorption measurements for porosity characterization of hardened cement pastes // Construction and Building Materials. - 2014. - V. 66. - P. 621–633.
5. Cabeza M., Merino P., Miranda A., Novoa X.R., Sanchez I. Impedance spectroscopy study of hardened Portland cement paste // Cement and Concrete Research. - 2002. - V. 32. - P. 881–891.
6. Cruz J.M., Fita I.C., Soriano L., Paya J., Borrachero M.V. The use of electrical impedance spectroscopy for monitoring the hydration products of Portland cement mortars with high percentage of pozzolans // Cement and Concrete Research. - 2013. - V. 50. - P. 51– 61.
7. Sánchez-Fajardo V.M., Torres M.E., Moreno A.J. Study of the pore structure of the lightweight concrete block with lapilli as an aggregate to predict the liquid permeability by dielectric spectroscopy // Construction and Building Materials. - 2014. - V. 53. - P. 225–234.
8. Goloshchapov D.L., Len'shin A.S., Tutov E.A., Ponomarev Y.A., Maraeva E.V. Sorption properties of composite materials based on calcium hydroxyapatite. - Book chapter in: Nanoscale-arranged systems for nanotechnology. - Ed. K.L. Levine. - Nova Science Publishers, New York, 2015. – p.149-151.
9. Артамонова О.В., Чернышов Е.М. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 1. Общие проблемы фундаментальности, основные направления исследований и разработок // Строительные материалы. - 2013. - № 9. - С. 82-90.
10. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. - М.: Технопроект, 1998. - 768 с.
11. Syrkov A.G. Surface-nanostructured metals and their tribochemical properties // Smart Nanocomposites. - 2012. - V. 3. - P. 59-66.

12. Тутов Е.А., Андрюков А.Ю., Кашкаров В.М. Определение структурно-фазовых параметров пористого кремния из измерений емкости // ЖПХ. - 2000. - Т. 73, № 7. - С. 1071-1074.
13. Тутов Е.А., Рябцев С.В., Шапошник А.В., Домашевская Э.П. Твердотельные сенсорные структуры на кремнии. – Воронеж: изд-во ВГУ, 2010. – 231 с.
14. Тутов Е.А. Твердотельные структуры с пленками биоорганических материалов на кремнии // ЖТФ. - 2012. - Т. 82, № 6. - С. 30-34.
15. Тутов Е.А. Изучение сорбции паров воды дисперсно-пористыми материалами с помощью электрофизических методов. Часть I. Сорбция паров воды пленками пористого кремния // Научный вестник ВГАСУ. Сер. "Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения". - 2013. - Вып. № 7. - С. 73-87.
16. Тутов Е.А., Андрюков А.Ю., Рябцев С.В. Неравновесные процессы в емкостных сенсорах на основе пористого кремния // Письма в ЖТФ. - 2000. - Т. 26, № 17. - С. 53-58.
17. Тутов Е.А., Павленко М.Н., Тутов Е.Е., Протасова И.В., Бормонтов Е.Н. Равновесные и неравновесные электродные процессы на пористом кремнии // Письма в ЖТФ. - 2006. - Т. 32, № 13. - С. 6-11.
18. Тутов Е.А., Павленко М.Н., Протасова И.В., Кашкаров В.М. Взаимодействие пористого кремния с водой: хемографический эффект // Письма в ЖТФ. - 2002. - Т. 28, № 17. - С. 45-50.

Тутов Евгений Анатольевич – д.х.н., профессор кафедры физики Воронежского государственного технического университета. E-mail: tutov_ea@mail.ru

Голощанов Дмитрий Леонидович - к.ф.-м.н., ведущий инженер кафедры физики твердого тела и наноструктур Воронежского государственного университета; доцент кафедры физики Воронежского государственного технического университета. E-mail: goloshcharov@phys.vsu.ru.

Артамонова Ольга Владимировна – к.х.н., доцент кафедры химии Воронежского государственного технического университета. E-mail: ol_artam@rambler.ru

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

УДК 543.544:691.1

О.Б. Рудаков, Е.А. Хорохордина, А.М. Хорохордин

ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В обзоре рассмотрены проблемы контроля качества и безопасности строительных материалов. Обсуждено содержание наиболее распространенных экотоксикантов в различных строительных материалах. Выделено три блока задач в аналитическом контроле качества и безопасности строительных материалов, показаны пути их решения.

Ключевые слова: экотоксиканты, полимеры, композиты, строительные материалы, методы контроля.

О.В. Rudakov, E.A. Khorokhordina, A.M. Khorokhordin

THE PROBLEMS OF CONTROL OF SAFETY OF CONSTRUCTION MATERIALS

The review deals with the problem of quality control and safety of building materials. We discussed the content of the most common toxicants in different building materials. Allocate three blocks of problems in analytical quality control and safety of construction materials, the ways of their solution.

Keywords: ecotoxicants, polymers, composites, control methods.

Проблемы загрязнителей в строительных материалах. Как показывает анализ публикаций, справочников, монографий и нормативных документов в контроле качества и безопасности строительных материалов (СМ) компоненты СМ, а так же вредные химические вещества, выделяющиеся в окружающую среду из СМ, определяют преимущественно гравиметрическими и титриметрическими методами анализа [1-4]. Не последнюю роль отводят органолептической экспертизе – оценке запаха. Наличие, характер и интенсивность запаха в помещении свидетельствует о проявлении эмиссии из СМ каких-то веществ в заметных количествах. Поэтому при проектировании, строительстве и сдаче в эксплуатацию жилых зданий, предприятий коммунально-бытового обслуживания, учреждений образования, культуры, отдыха и спорта в соответствии с методическими указаниями «Санитарно-гигиеническая оценка полимерных и полимерсодержащих строительных материалов и конструкций, предназначенных для применения в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. МУ 2.1.2.1829-04», введенных в действие 1 мая 2004 г., проводится одорометрическая оценка по 5-балльной шкале. На момент ввода зданий в эксплуатацию СМ не должны создавать в помещении специфических и неприятных запахов. МУ 2.1.2.1829-04 также регламентирует инструментальные, первую очередь хроматографические, методы контроля летучих веществ, мигрирующих из СМ [5-12].

В современных СМ активно применяются полимеры и неполимерные органические вещества. На производство СМ идет до 20 % мирового производства полимерных веществ: это полистиролы, поливинилхлориды, полиуретаны, полиолефины, полиэфиры, фенолоальдегидные и эпоксидные смолы, различные композиты. В современном строительстве используется более 100 наименований полимерных материалов. При этом применение полимеров в строительной отрасли стремительно возрастает, появляются все новые варианты и направления использования и полимеров, и органических соединений с молекулярной массой меньше 500 [13-14].

Экологи бьют тревогу, что вредные вещества активно выделяются в атмосферу, в сточные воды химических и строительных производств, выделяются они и эксплуатации СМ не только под воздействием внешних факторов - солнечного излучения, повышенной влажности, при механическом воздействии, но также в обычных комнатных условиях. Не редкость, что внутри помещений из-за эмиссии СМ экотоксикантов небезопасно жить и работать. Еще в 70-х годах XX века Всемирная организация здравоохранения ввела термин "синдром больных зданий» (СБЗ). С тех пор проблема загрязнения воздуха в закрытых помещениях не только не теряет своей остроты, но и становится злободневнее. Напомним хотя бы так называемые «фенольные дома» (рис.1).



Рис. 1. Пример «фенольного» дома

Это название получили панельные дома серии П-49 (девятиэтажные дома, построенные в начале 1970-х г. во многих крупных городах СССР). В бетон, использованный при их строительстве, добавляли фенолформальдегид, который и был впоследствии источником фенола и формальдегида [2, 15]. По оценкам экспертов, 30-70 % современных жилых и офисных зданий не только в России, но и во всем мире имеют проблемы с загрязнением воздуха. Эпидемиологические исследования [15], показывают что 25-80 % обследованных лиц, проживающих и работающих в современных зданиях, имеют симптомы, характерные для СБЗ: ухудшение состояния здоровья, связанное с плохим качеством воздуха в помещениях, а именно раздражение глаз, кожи, верхних дыхательных путей, наличие головных болей, повышенной утомляемости, нарушения сна и т.д.

Таблица 1

Вещества, подлежащие определению при санитарно-химических исследованиях основных типов полимерных строительных материалов (МУ 2.1.2.1829-04)

Наименование полимера, применяемого для изготовления материала	Вид строительного материала	Ориентировочный перечень выделяющихся веществ
Поливинилхлорид пластифицированный	Линолеумы, плиты, моющиеся обои, декоративные пленки, плитусы,	Анизол, бензол, 1-бутанол, 1-гексанол, , винилхлорид,

Наименование полимера, применяемого для изготовления материала	Вид строительного материала	Ориентировочный перечень выделяющихся веществ
(суспензионный и эмульсионный)	поручни, оконные рамы, двери и т.д.	гексен-1, толуол, фенол, тетрахлорметан, метиленхлорид, хлороформ, трихлорэтилен, гексилхлорид, ксилолы, кумол, псевдокумол, мезитилен, циклогексанон, дибутилфталат, диоктил- и дидодецилфталат, винилацетат, 2-этилгексаналь, этилацетат, метилэтилкетон, этилгексан
Фенолформальдегидные смолы	Древесностружечные и древесноволокнистые плиты, фенопласты	Формальдегид, фенол, метанол, аммиак
Карбамидные смолы	Древесностружечные и древесноволокнистые плиты	Формальдегид, метанол, аммиак, анилин
Синтетические каучуки на основе бутадиена и сополимеров бутадиена с акрилонитрилом и стиролом	Резиновые линолеумы, резиновые плиты, коврики, пенорезиновые основы синтетических ковров	Дивинил, бензол, толуол, акрилонитрил стирол, 2-метилстирол (этилбензол, сероуглерод, ацетальдегид, ацетон, метанол, 1-бутанол, ксилолы, изопрен, метилметакриловая кислота
Полистирольные пластики, полистирол (блочный, суспензионный, ударопрочный)	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, метанол, формальдегид, бензол, толуол, этилбензол
Сополимер стирола с акрилонитрилом	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Акрилонитрил, формальдегид, бензальдегид, стирол,
АБС-пластики	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, акрилонитрил, альфа-метилстирол, бензол, толуол, этилбензол, бензальдегид, ксилолы, кумол
Сополимер стирола с метакрилатом	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, метилметакрилат, метанол, формальдегид
Сополимер стирола с альфа-метилстиролом	Плитка для отделки стен, панели, решетки, пленки, пенопласты	Стирол, альфа-метилстирол, бензальдегид, ацетофенон
Сополимер стирола с дивинилом	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, дивинил, ацетальдегид, ацетон, метанол, 1-бутанол, ксилолы
Вспененные полистиролы	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки,	Стирол, альфа-метилстирол, бензол, толуол, этилбензол,

Наименование полимера, применяемого для изготовления материала	Вид строительного материала	Ориентировочный перечень выделяющихся веществ
	пленки, пенопласты и т.д.	кумол, метанол, формальдегид
Полиуретаны	Жесткие и мягкие пенопласта, клеи, лаки, герметики	Дивинил, толуилендиизоцианат, этиленгликоль, бензол, этилацетат, бутилацетат, изобутилацетат, ацетон, этанол, 1-бутанол
Эпоксидные смолы	Стеклопластики, клеи, фунты, пенопласты, лакокрасочные покрытия, шпатлевка	Эпихлоргидрин, фенол, бисфенол А, формальдегид, дибутилфталат, ацетон, этилбензол, ксилолы, этанол, 1-бутанол, аммиак, этилендиамин, этаноламин, гексаметилендиамин, малеиновый ангидрид, фталевый ангидрид
Полиэфирные смолы	Стеклопластики, лаки, клеи	Этиленгликоль, диэтиленгликоль, стирол (для полиэфирных смол, отвержденных стиролом), этилбензол (для полиэфирных смол, отвержденных стиролом), органические растворители, вталевый ангидрид
Полимеры на основе винилового спирта и его производных, поливинилацетат	Клеи, краски, лаки, герметики, грунты	Уксусная кислота, ацетон, этилацетат, бензол, дибутилфталат, диоктилфталат, винилацетат, формальдегид, ацетальдегид, метанол
Поливинилацетат с добавкой карбамидной смолы	Клеи, краски, лаки, герметики, грунты	Ацетон, этилацетат, бензол, дибутилфталат, диоктилфталат, винилацетат, формальдегид, метанол
Поливиниловый спирт	Клеи, краски, лаки, герметики, грунты	Ацетон, бензол, дибутилфталат, диоктилфталат, винилацетат, метанол, этилацетат,

Воздействия поллютантов, выделяющихся из СМ на организм человека классифицируется следующим образом: негативное воздействие запаха; раздражение слизистых оболочек; общетоксическое воздействие, в том числе и аллергизирующее; отдаленные последствия (генотоксические, канцерогенные, эмбриотоксические и др.).

Таблица 2

Наиболее распространенные экотоксиканты, выделяемые СМ

Вещества	Класс опасности	Вероятность обнаружения	Кратность превышения ПДК	Источники загрязнения
Формальдегид	2	100	1-20	Мебель, отделочные материалы, ДСП, ДВП
Фенол	2	70	1-5	Отделочные материалы, ДСП, ДВП
Стирол	4	100	1-12	Отделочные материалы, технические средства
Винилхлорид	2	20	1-2	Линолеум, провода, кабели, отделочные материалы, обои
Этилбензол	3	100	1-3	Отделочные материалы, оргтехника, кабели, проводка
Гексаналь	3	100	1-5	Мебель, лаки, краски, отделочные материалы
Ацетальдегид	3	80	1-4	Мебель, лаки, краски, отделочные материалы
Ацетофенон	3	60	1-5	Мебель, технические материалы, оргтехника
Микотоксины	2	50	1-5	Отделочные материалы, обои, ДСП, ДВП
Аммиак	4	50	1-4	Шпатлевки, бетоны, композиты
Бисфенол А	3	50	1-4	Стеклопластики, клеи, пенопласты, лакокрасочные покрытия, шпатлевка, пластиковая тара, рулонные материалы, тара
Нонилфенол	3	20	1-2	Отделочные материалы, технические средства, оргтехника
Триклозан	2	20	1-2	Отделочные материалы, ДСП, ДВП, обои, рулонные материалы

В табл. 1 даны выделяющиеся из СМ вещества, которые необходимо контролировать согласно МУ 2.1.2.1829-04. В табл. 2 приведены данные о классе опасности типичных экотоксикантов, вероятность их обнаружения в СМ и кратность превышения ПДК в воздухе помещений [7-9,15-24].

Городские жители проводят в закрытых помещениях 22,5 часов в сутки, при этом загрязнение воздуха внутри жилых и производственных помещений, в транспорте нередко превышает загрязнение снаружи в 2-4 раза [2, 7-9, 15]. Показано, что практически все СМ: утеплители, ковровые покрытия, рулонные материалы (линолеумы, обои, ткани, пленки), красящие и защитные средства (лаки, краски, мастики, герметики), половые покрытия (плитки, паркет, наливные полы), мебель и материалы для ее изготовления (ДСП, ДВП, пластики), коммуникации для подачи и отвода воды, для вентиляции (трубы, краны, фитинги, смесители, шланги), пластиковые окна, двери и т.д. выделяют в окружающую среду вредные для здоровья человека загрязнители.

В последнее время в научной периодике и СМИ активно обсуждают проблемы опасности для здоровья человека триклозана, нонилфенола и бисфенола А. Они выделяются из СМ, бытовых полимерных материалов, например таре для пищевых и непищевых продуктов СМ [17-24]. Эти производные фенола входят в состав многих композиционных

полимерных материалов либо как мономеры (бисфенол А), либо как стабилизирующие или консервирующие добавки (нонилфенол, триклозан) (табл. 2).

Все большей проблемой для современных зданий, строящихся в России не только в летнее время, но уже в круглогодичном режиме, стало газовыделение аммиака. В табл. 3 приведены источники его эмиссии [14].

Таблица 3

Источники эмиссии аммиака из бетона и строительных смесей

Добавка в бетон	Применение в бетоне
Триэтаноламин	Интенсификатор помола цемента, добавка - ускоритель твердения
Сульфированные меламиноформальдегидные смолы	Входят в состав добавок-регуляторов твердения бетона
Аминоуксусная кислота, аминопропионовая кислота	Модификаторы противоморозного действия, компоненты комплексных модификаторов
Карбамид (мочевина)	Входит в состав противоморозных добавок и ускорителей твердения
Амиды карбоновых кислот	Входят в состав противоморозных добавок и ускорителей твердения
Нитрат аммония	Модификатор противоморозного действия
Гидроксид аммония	Модификатор противоморозного действия
Хлористый аммоний	Модификатор противоморозного действия
Аммонийная форма нитрата кальция	Используется в качестве ускорителя сроков схватывания и компонента в противоморозных добавках
Оксалат аммония	Входит в состав ускорителей схватывания
Лигносульфат аммония	Пластификатор
Аммонизированная зола-уноса	Активная минеральная добавка

Исследователи обратили серьезное внимание на микотоксины. СМ, содержащие в своем составе отходы лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, текстильной промышленности являются питательной средой для размножения микроорганизмов (бактерий, грибов). Последние не только вызывают биокоррозию СМ, но продуцируют весьма токсичные вещества – микотоксины [25-27].

Задачи аналитического контроля безопасности строительных материалов. Можно выделить три блока задач в аналитическом контроле СМ: 1) установление экологической безопасности; 2) контроль набора технических свойств, гарантирующих безопасную эксплуатацию материалов, изделий и конструкций; 3) распознавание контрафакта, фальсификата, идентификация фирменной продукции.

Первый блок задач связан необходимостью жесткого и надежного контроля в СМ допустимого уровня токсикантов: тяжелых металлов, радионуклидов, пестицидов, микотоксинов, консервантов, патогенных микроорганизмов и летучих экотоксикантов техногенного происхождения. Он наиболее важен в аналитической практике.

С помощью хромато-масс-спектрометрии (ХМС) в воздушной среде жилых и общественных зданий обнаружено около 560 летучих соединений, относящихся к 32 группам химических веществ [28], это углеводороды, кислород-, азот-, серо- и

галогенпроизводные углеводов. Среди углеводов алканы и циклоалканы наименее токсичны. Ароматические углеводороды – бензол, толуол, стирол и особенно полиароматические углеводороды (нафталин, антрацен, фенантрен и др.), а также гетероциклическая ароматика (бенз(а)пирены, диоксины), напротив, очень опасные вещества, легко накапливающиеся в жировых тканях людей и животных. Из кислородсодержащих производных наиболее опасны метанол, сивушные масла, альдегиды и кетоны (формальдегид, ацетальдегид, гексаналь, ацетон), карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, масляная), производные азота – оксиды азота, цианиды, изоцианаты, аммиак и амины.

Следует отметить, что степень насыщенности полимерсодержащими СМ в жилых помещениях колеблется от 10 до 100 %. При этом концентрации выделяемых экотоксикантов в воздухе могут превышать гигиенические нормы в 2-15 раз. В первую очередь это касается фенола, стирола и формальдегида – основных загрязнителей жилой среды в России. Формальдегид, стирол и фенол превышают ПДК в более чем 80 % проб, взятых внутри помещений! Высокое содержание формальдегида выявлено также в квартирах с газовым отоплением и газовыми плитами, где он является продуктом неполного сгорания [15].

Приведем пример строительного объекта, в котором экологическая опасность обусловлена применением полимерсодержащих СМ. В метростроении полимеры и органические добавки используют для создания футеровки, ограждающих конструкций, в качестве составной части полимерцементных бетонов, во внутренней отделке подземных помещений, гидроизоляции и герметизации, теплоизоляции конструкций, в антикоррозионных материалах и покрытиях, мастиках, дренажных трубах, средствах укрепления грунтов и др. [10]. Карбамидные смолы выделяют фенол, формальдегид и аммиак, эпоксидные смолы – эпихлоргидрин, бисфенол А. Поливинилацетатные материалы выделяют формальдегид и метанол. Материалы укрепления грунтов выделяют бисфенол А, гексаметилендиамин, капролактан, фталаты, малеиновый и фталевый ангидриды, меламин, метанол, нитрит акриловой кислоты, стирол, фенол, утропин, формальдегид, эпихлоргидрин, свинец, цинк, медь, титан и др.

В метро обнаружен и такой источник загрязнения как микрофлора (грибков, мха, бактерий и др.), хорошо размножающаяся на поверхности СМ и производящих микотоксины [10, 25-27]. С целью борьбы с микроорганизмами в СМ вводят антисептики, консерванты - триклозан, крезолы и др., которые сами являются опасными загрязнителями [30].

Какие материалы и изделия контролируются в типовых лабораториях строительного профиля? На примере Центра коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова (ЦКП) ВГТУ в перечень объектов входят цементы и портландцементы, специальные виды цементов, гипсовые вяжущие вещества, известь строительная, мел и глина, грунты, песок, щебень и гравий, искусственные пористые заполнители, сухие строительные смеси, смеси растворные и бетонные, строительные растворы, легкие и тяжелые бетоны, специальные виды бетонов, изделия бетонные и железобетонные, тротуарная плитка, изделия из природного камня, древесина и изделия из нее, кирпич и камни силикатные, кирпич и камни керамические, керамическая плитка, теплоизоляционные материалы и изделия, кровельные и гидроизоляционные материалы, битумы и минеральные порошок, смеси асфальтобетонные и асфальтобетон, стальная и полимерная арматура, конструкции бетонные, железобетонные, стальные и деревянные. Как правило, определяют интегральные технические свойства, механические показатели, химический состав основных компонентов, реже контролируют загрязнители.

На схеме (рис. 2) приведены подразделения ЦКП, выполняющие исследования СМ.

Как видно из рис 2., непосредственно химическими анализами занимается лишь одно из подразделений ЦКП, при этом в исследовании материалов предпочтение отдается гравиметрическим, титриметрическим и спектральным методам анализа.



Рис. 2. Подразделения ЦКП строительного профиля (на базу ВГАСУ, вошедшего в состав ВГТУ)

Весьма востребован, например, анализ минералогического состава минерального сырья с помощью рентгенофазового дифрактометра, состава сталей с помощью атомно-эмиссионного спектрометра, гранулометрического состава порошковых материалов с помощью лазерного анализатора формы и размеров частиц, состояния поверхности материалов с помощью сканирующей зондовой микроскопии и т.д. Отсутствие должного контроля технико-эксплуатационных свойств (2-я аналитическая задача, обозначенная выше) может привести к опасности разрушения здания. Так, некачественные железобетонные конструкции, в частности, применение арматуры не той марки, которая была нужна для создания запаса прочности, привели к разрушению Трансвааль-Парка в Москве в 2004 г. после обильного снегопада (рис. 3). Применение некачественного утеплителя с пониженным содержанием антипиренов привело к пожару жилых зданий в Грозном в 2013 г. (рис. 4).

В контроле безопасности материалов наиболее ходовыми становятся хроматографические методы. С их помощью можно изучать состав основных компонентов, примесей и микропримесей до 80% всех выпускаемых химических веществ и материалов. Поэтому на этих методах следует остановиться детальней.

На схеме (рис. 5) представлены группы хроматографических методов, которые позволяют контролировать качество и экологическую безопасность СМ. Основная доля существующих методик (МВИ, МУК, ГОСТ и РД) приходится на капиллярную газожидкостную хроматографию (КГЖХ). В работах [6-9, 30] приведен достаточно большой перечень аттестованных хроматографических методик определения экотоксикантов, который постоянно растет. Этот список пополняется методиками ВЭЖХ, не утратила актуальность практика применения ТСХ [22,24]. Существенно возросло число методик, в которых для анализа вредных веществ в материалах используют ХМС, причем не только в сочетании с КГЖХ, но и в сочетании с ВЭЖХ [18-20, 23, 25, 30].



Рис. 3. Разрушенная кровля Трансвааль- парка, Москва, 2004.



Рис. 4. Возгорание зданий, утепленных некачественным утеплителем, Грозный, 2013

Но одной из серьезных проблем не только хроматографических, но и других инструментальных методов является пробоотбор и пробоподготовка [5-8, 12, 30]. При изготовлении и эксплуатации СМ наблюдается достаточно выраженное и нередко продолжительное газовыделение, особенно характерное для новых СМ, но со временем из-за деструкции все сильнее «фонят» низкомолекулярными продуктами и старые СМ [29]. Поэтому актуальной является разработка методов отбора газовыделений, водных смывов, аэрозолей, выделяющихся из полимерных и композитных СМ в процессе производства, эксплуатации, а также в чрезвычайных ситуациях.



Рис. 5. Хроматографические методы контроля СМ и аналиты, определяемые этими методами

Изучением методов пробоподготовки занимаются исследователи в Томском ГАСУ, МГСУ, Воронежском ГАСУ, ныне вошедшем в состав опорного университета (ВГТУ) [8, 9, 11]. В работах Березкина В.Г., Другова Ю.С., Зибарева П.В., Хабарова В.Б. и др. [5-8, 12, 30] показано, что наиболее целесообразными устройствами пробоотбора являются ловушки-концентраторы с полимерными пористыми сорбентами, имеющими различные функциональные группы. При этом доминирующую роль в контроле играет выбор сорбента для концентрирования микропримесей. Сорбент должен отвечать следующим критериям: быть химически инертным к выделяющимся компонентам; хорошо адсорбировать аналиты; просто и быстро осуществлять процесс десорбции (и регенерации); сохранять свои адсорбционные свойства в течение длительного пользования (т.е. большого числа циклов адсорбции-десорбции); быть механически прочным, доступным и относительно дешевым.

Над этими задачами работают также в ГЕОХИ РАН в лаборатории сорбционных методов (Долгоносоев А.М.) [30, 31], в Электростальском научно-производственном объединении «Неорганика», РХТУ (Мухин В.М.) [33], в ИНЭОС РАН (Цурюпа М.П., Даванков В.А.) [34, 35], Хабаров В.Б. в ИФХЭ РАН [6, 7] и др.

Наиболее востребованы исследования по отбору проб летучих органических веществ, выделяющихся из полимерных СМ при комнатной и высоких температурах (в интервале до 100 °С), а также продуктов деструкции в условиях пожара. Как известно, наиболее часто гибель людей при пожарах происходит из-за химической асфиксии, вызванной газообразными продуктами горения СМ [35]. Термическая деструкция и горение полимеров может сопровождаться выделением не только CO₂, но и фосгена, цианистого водорода, изоцианатов, хлора, фтора, галогеноводородов и прочих токсикантов. В этой связи Зайцев А.М. обратил внимание на один нонсенс. Так, согласно действующим СНиП, пожарная опасность СМ определяется такими пожарно-техническими характеристиками как горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность продуктов горения. Из этого следует, что многие вредные

летучие вещества, которые интенсивно выделяются из прогреваемых до температуры их воспламенения СМ, не учитываются никаким нормативным документом и этому надо уделять большое внимание. Так, экспериментально установлено, что формальдегид из ДСП и винилхлорид из линолеума в значительных количествах выделяются на начальной стадии пожара, при температурах 80-90 °С [36].

Органические экотоксиканты и ингредиенты СМ можно эффективно контролировать методами хроматографии на уровне и ниже ПДК с использованием различных способов концентрирования, например, с применением жидкостно-жидкостной и твердофазной экстракции, экстракционного вымораживания) [37-42]. Жидкостно-жидкостную экстракцию (ЖЖЭ) органических экотоксикантов в настоящее время развивает воронежская школа – Подолина Е.А., Суханов П.Т., Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Рудакова Л.В. [37, 38, 41], экстракционное вымораживание – Бехтерев В.Н. и др.[42-44].

В исследованиях воронежской научной школы по ЖЖЭ экотоксикантов из водных растворов для пробоподготовки применяют ацетонитрил [45-49], это уникальный и во многом универсальный растворитель, ставший не только основным компонентом обращенной подвижной фазы для ВЭЖХ, но и эффективным экстрагентом [47]. Для того, чтобы происходило расслоение ацетонитрильного слоя с водной фазой, применяют различные высаливатели, наиболее подходящим считается сульфат аммония [45]. Однако при низких температурах (ниже -4 °С) ацетонитрил расслаивается с водой без высаливателей, что можно использовать для ЖЖЭ при низких температурах [47]. Его же успешно применяют для экстракционного вымораживания различных загрязнителей [42-44]. Для более эффективного извлечения сравнительно гидрофобных экотоксикантов из воды и других матриц Рудаковым О.Б. с соавторами вместо чистого ацетонитрила предложено в ЖЖЭ применять его смеси с изопропанолом и этилацетатом [49] (рис. 6). Смешанные экстрагенты показали себя более эффективными в извлечении алкилфенолов, чем ацетонитрил, они дешевле и менее токсичны, что важно для рутинных массовых химических анализов.



Рис.6. Расслоение при – 20 °С водного раствора и окрашенного анализата (йода), экстрагент: 1) ацетонитрил; 2) смесь ацетонитрила с этилацетатом (85:15); 3) смесь ацетонитрила с этилацетатом и изопропанолом (80:15:5).

Третьей важнейшей проблемой в контроле СМ является проблема идентификации фирменной продукции, выявление контрафакта и фальсификата. Например, бетон - вторая по общим объемам потребления человеческой цивилизацией (после воды) субстанция, он является самым активно используемым из искусственно созданных людьми строительных материалов. Так, в середине прошлого десятилетия в мире ежегодно производилось в общей сложности порядка 7 км³ бетона. Как минимум 7 % мирового производства СМ – поддельные материалы. Не так давно Е. О. Сизэрра, заместитель главы Минстроя РФ, сообщила, что, по мнению экспертов, более 50 % цемента, поступающего на стройки России, является фальсификатом (<http://ancb.ru/news/read/2294>). К качественному цементу при упаковке подмешивают 20-30 % инертных неорганических наполнителей (шлак, зола, известь или мел). Фальсифицируются известные и популярные торговые марки. Прибыль

фальсификаторов в разы превосходит доходы производителей оригинальной продукции. Распознать подделку трудно даже опытным специалистам. Фальсификации подвергаются не только товары, но и все сопроводительные документы (сертификаты качества, безопасности, страна происхождения, товарный знак и т. д.). Сухие строительные смеси (ССС) также фальсифицируют, как правило, еще в процессе изготовления, экономя на дорогостоящих химических добавках: органических соединениях, ПАВ, полимеров. В результате СССР теряет важные заявленные технические характеристики. В этом сегменте контроля качества продукции непочатый край работы, в том числе для ионной хроматографии, капиллярного электрофореза, так как надо контролировать химический состав и неорганических веществ (катионы и анионы), полученных при переводе твердых проб в раствор [32, 50], и органических ионогенных и неионогенных веществ.

Некоторые фирмы стали для борьбы с подделками добавлять в СМ специальные маркеры, их также необходимо научиться контролировать и качественно, и количественно. В помещениях с СБЗ выявлены аэрозоли таких тяжелых металлов как свинец, кадмий, хром, цинк, железо, марганец, ртуть, стронций, медь. Тяжелые металлы можно контролировать не только спектральными методами, но и с помощью ионной хроматографии [31,49].

Важной проблемой в России остаются загрязнения среды асбестом и пылевидными загрязнителями из СМ. В решении этой проблемы высоким потенциалом обладает такой хроматографический метод, как фракционирование в поперечном поле сил (Field-Flow Fractionation). Этот метод интересен для разделения не только частиц пыли, аэрозолей тяжелых металлов, но даже микроорганизмов [51, 53].

Непосредственно анализ качества полимеров, в частности, определение полного молекулярно-массового распределения макромолекул, возможен с помощью гелепроникающей хроматографии (ГПХ) [54]. ГПХ позволяет изучить тонкие изменения в химической структуре полимеров, этот метод широко применяется в промышленном производстве эластомеров для оперативного контроля качества серийно выпускаемой продукции и соответствующей корректировки технологического процесса, однако еще не внедрен в контроль качества полимерсодержащих материалов службами госнадзора. Существенную пользу в идентификации анализируемых полимеров может принести применение пиролитической газовой хроматографии [54].

В основу метода положено термическое разложение исследуемого образца полимера с последующим хроматографическим анализом продуктов пиролиза. Метод пиролитического газохроматографического анализа широко используется при контроле производства красок, резин, синтетических и природных волокон, эластомеров, полимерных клеев, микроорганизмов.

Пирограммы, полученные в идентичных условиях, являются своеобразными «отпечатками пальцев» исследуемых материалов. На предприятиях, производящих эластомеры создаются атласы пирограмм для различных резин и каучуков, по которым можно выполнять идентификацию материала. На рис. 7-9 приведены примеры хроматограмм смесей типичных экотоксикантов.

Контроль СМ должен стать приоритетной задачей в разработке рекомендаций экологов по проведению гигиенического мониторинга жилой среды с внесением данных динамического наблюдения в эколого-гигиенический паспорт жилища, профилактику СБЗ по стандартизованным методикам (в том числе хроматографическим); в разработке и внедрении в жилищно-эксплуатационную службу экологического паспорта жилого дома; а так же в решении вопросов обеспечения экологического мониторинга строящихся объектов, контроля над качеством выполнения и эксплуатации вентиляции зданий.

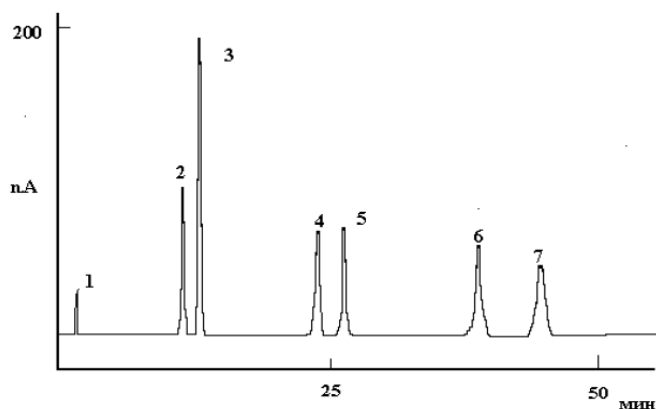


Рис. 7. Хроматограмма смеси фенолов, ВЭЖХ. Обозначены пики: 1 – системный пик; 2 – фенол; 3 – гваякол; 4 – *n*-крезол; 5 – *o*-крезол; 6 – хлоркрезол; 7 – *n*-хлорфенол. Колонка: (150x4,6) мм, Mightysil RP-18. Подвижная фаза: ацетонитрил : вода : фосфорная кислота (20,0:79,9:0,1)% б. Детектор амперометрический[55]

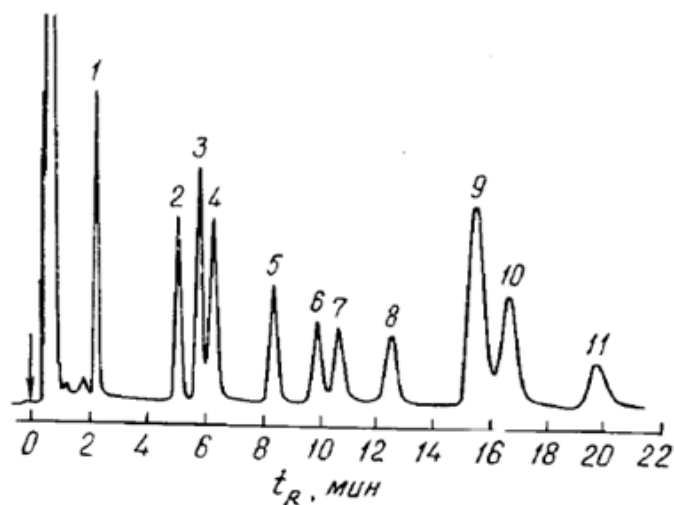


Рис. 8. Хроматограмма смеси фенольных экотоксикантов, ГЖХ. Обозначены пики: 1 – фенол; 2 – *o*-крезол; 3 – *m*-крезол; 4 – *n*-крезол; 5 – *o*-этилфенол; 6 – *m*-этилфенол; 7 – *n*-этилфенол; 8 – 2,6-диэтилфенол; 9 – 2,4+2,6 – диметилфенол; 10 – 2,3+3,5 – диметилфенол; 11 – 3,4 – диметилфенол. Неподвижная фаза: карбопак G+0,1% SP-1000 [55].

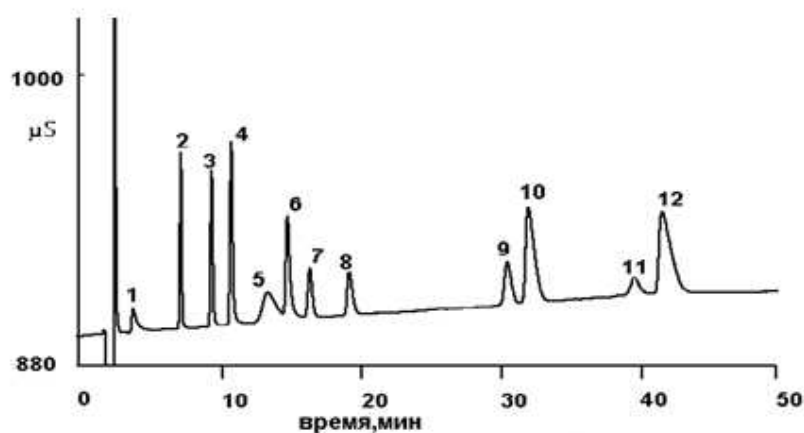


Рис. 9. Хроматограмма смеси ионов токсичных металлов. Ионная хроматография. Обозначены пики: 1 – медь; 2 – литий; 3 – натрий; 4 – аммоний; 5 – никель; 6 – калий; 7 – цинк; 8 – кобальт; 9 – марганец; 10 – магний; 11 – кальций; 12 – кадмий. Подвижная фаза: смесь 4 мМ винной и 2 мМ щавелевой кислот [55].

В этом плане актуальны задачи разработки и создания специализированных лабораторных комплексов для санитарно-гигиенических исследований полимерных СМ, включающих спектральные и хроматографические приборы. Желательно чтобы эти комплексы были мобильными, обеспеченными системами пробоотбора и портативными приборами, способными проводить анализ в полевых условиях, непосредственно в инспектируемых зданиях и помещениях. В этом плане перспективны разработки Сидельникова В.Н. и Платонова И.А. [56] по созданию миниатюрных, но высокоэффективных хроматографических систем.

Авторы неоднократно поднимали проблемы и предлагали пути их решения, затронутые в обзоре на различных конференциях и в публикациях в изданиях ориентированных на химиков-аналитиков [9,57-61]. В данной публикации целевой публикой являются исследователи в области строительного материаловедения и технологий, инженеры-практики. Только совместные усилия химиков-аналитиков, экологов, материаловедов и технологов-строителей могут привести к эффективным решениям рассмотренных проблем. В заключение еще раз подчеркнем необходимость разработки федеральной целевой программы по контролю вредных веществ и свободных низкомолекулярных компонентов в СМ, в жилых и производственных помещениях, на транспорте, в окружающей среде с целью обеспечения и безопасности и качества жизни человека.

Список литературы

1. Шефтель В.О. Вредные вещества в пластмассах: Справочник. М.: Химия, 1991. 544 с.
2. Цховребов Э.С., Четвертаков Г.В., Шканов С.И. Экологическая безопасность в строительной индустрии. : М.: Альфа-М, 2014. 304 с.
3. Гильденскиольд Р.С., Аксенова Л.П., Кузнецова Г.М. Полимерные и полимерсодержащие материалы и конструкции, разрешенные к применению в строительстве. М.: Минздрав России, 2002. 140 с.
4. Вернигорова В.Н., Макридин Н.И., Соколова Ю.А. Современные химические методы исследования строительных материалов. М.: Химия, 2003. 224 с.
5. Другов Ю.С., Березкин В.Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха. М.: Химия, 1981. 256 с.
6. Хабаров В.Б. Санитарно-химические характеристики композиционных древесных материалов и синтетических смол по данным газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15, № 2. С. 196-215.
7. Хабаров В.Б. Определение формальдегида, метанола и метилала в фанере, шпоне и карбамидоформальдегидной смоле методом газовой хроматографии с помощью нового устройства для парофазного анализа // Аналитика и контроль. 2013. Т. 17, № 2. С. 196-203.
8. Зибарев П.В., Зубкова Т.П. Экологическая безопасность полимерных строительных материалов. Анализ газовой выделений // Экология промышленного производства. 2007. № 2. С. 27-33.
9. Применение хроматографических методов в контроле качества и безопасности строительных материалов (обзор) / Е.Н. Грошев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т.11, №3. С. 335-349.
10. Куликова Е.Ю. Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России, 2016. Т. 20, № 3. С. 28-31.
11. Зубкова Т.П., Недавий О.И., Зибарев П.В. Система контроля качества полимерных материалов в современных строительных технологиях // Вестник ТГАСУ. 2007. №1. С. 191-203.
12. Мальцев В.В. Хроматографический анализ летучих выделений из полимерных материалов и прогнозирование их санитарно-химических свойств. Дисс. ... д-ра хим. наук, М. 1998. 298 с.

13. Хозин В.Г. Полимеры в строительстве: границы реального применения, пути совершенствования // Строительные материалы. 2005. № 11. С. 8-11.
14. Бобович Б.Б. Полимерные конструкционные материалы. М.: Инфра-М, Форум, 2014. 400 с.
15. Гигиенические и клинические аспекты синдрома "больных зданий" и перспективы охраны здоровья населения / Н.Г. Проданчук [и др.] // Современные проблемы токсикологии. 2006. № 2. С. 5-12.
16. Худяков С.А., Рудаков О.Б., Буряк А.К. Сравнительный анализ и разработка методов нейтрализации аммиака в бетоне // Научный Вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 4. С. 125-133
17. Hyung-Geun Park, Min-Kyeong Yeo The toxicity of triclosan, bisphenol A, bisphenol A diglycidyl ether to the regeneration of cnidarian, *Hydra magnipapillata* // *Molecular & Cellular Toxicology*. 2012. V. 8, № 3. P. 209-216.
18. Coughlin J.L., Winnik B., Buckley B. Measurement of bisphenol A, bisphenol A β -d-glucuronide, genistein, and genistein 4'- β -d-glucuronide via SPE and HPLC-MS/MS // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2011. V. 401, № 3. P. 995-1002.
19. UHPLC-MS/MS method for the determination of bisphenol A and its chlorinated derivatives, bisphenol S, parabens, and benzophenones in human urine samples / Vela-Soria F. [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2014. V. 406, № 15. P. 3773-3785.
20. Ferreira A.M. C., Möder M., Laespada M.E.F. GC-MS determination of parabens, triclosan and methyl triclosan in water by in situ derivatisation and stir-bar sorptive extraction // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2011. V. 399, № 2. P. 945-953.
21. Sublethal Toxic Effects of Nonylphenol Ethoxylate and Nonylphenol to *Moina macroscopa* / Xue-lei Hu [et al.] // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2014. V. 93, № 2. P. 204-208.
22. Определение бисфенола А в эпоксидной смоле методом тонкослойной хроматографии / Е.А. Хорохордина [и др.] // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 9. С. 94-99.
23. Чан Хай Данг, Хорохордина Е.А., Рудаков О.Б. Хромато-масс-спектрометрическое определение бисфенола А в пластиковой таре // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 11. С. 94-98.
24. Определение бисфенола А, триклозана и нонилфенола в материалах и экстрактах методом ТСХ, совмещенным с цифровой цветометрией / О.Б. Рудаков // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16, №5. С. 686-694.
25. Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism / K.F. Nielsen [et al.] // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2004. V. 54, № 4. P. 325-336.
26. Production of mycotoxins on artificially and naturally infested building materials / K.F. Nielsen [et al.] // *Mycopathologia*. 1999. V.145, №1. P. 43-56.
27. Production of mycotoxins on artificially inoculated building materials / K.F. Nielsen [et al.] // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 1998. V. 42, №1. P. 9-16.
28. Малышева А.Г. Летучие органические соединения в воздушной среде помещений жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. 1999. № 1. С. 43-46.
29. Горение, деструкция и стабилизация полимеров / Под ред. Занкова Г.Е. СПб.: Научные основы и технологии. 2008. 422 с.
30. Другов Ю. С, Родин А. А. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов: практическое руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 469 с.
31. Composites with a porous bipolar surface for ion chromatography / A.M. Dolgonosov [et al.] // *Journal of Analytical Chemistry*. 2013. T. 68, № 5. P. 444-449.
32. Долгоносков А.М., Рудаков О.Б., Прудковский А.Г. Колоночная аналитическая хроматография: практика, теория, моделирование. СПб.: Лань, 2015. 467 с.

33. Мухин В.М. Экологические аспекты применения активных углей // Экология и промышленность России. 2014. № 12. С. 52-56.
34. Сверхсшитый полистирол - первый нанопористый полимерный материал / М.П. Цюрупа [и др.] // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4, № 9-10. С. 109-117.
35. Сверхсшитый полистирол – перспективный материал для предконцентрирования и определения органических соединений методом ВЭЖХ / V.A. Davankov [et al.] // Chem. J. Chin. Univ. 1999. № 20. P. 257-266.
36. Зайцев А.М., Грошев М.Д., Рудаков О.Б. Пожары в России: их влияние на здоровье людей и загрязнение окружающей среды // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения. 2009. № 2. С.113-120.
37. Подолина Е.А. Современные способы концентрирования фенола и алкилфенолов из материалов и объектов окружающей среды // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2009. № 2. С. 45-66.
38. Хорохордина Е.А., Подолина Е.А., Рудаков О.Б. Жидкостная экстракция смешанными растворителями. Применение в химическом анализе фенолов. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 240 с.
39. Другов Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе. СПб.: Анатолия, 2002. 755 с.
40. Сычев К.С., Даванков В.А. Материалы и методы пробоподготовки в хроматографии: твердофазное концентрирование и адсорбционная очистка // Сорбционные и хроматографические процессы. 2004. Т.4, № 4. С.5-28.
41. Суханов П.Т., Коренман Я.И. Концентрирование и определение фенолов. Воронеж: ВГТА, 2005. 259 с.
42. Бехтерев В.Н. Выделение фенолов из воды экстракционным вымораживанием // Ж. аналит. химии. 2008. Т. 63, № 10. С. 1045-1049.
43. Pesticide determination in tomatoes by solid–liquid extraction with purification at low temperature and gas chromatography / G.P. De Pinho [et al.] // Food Chemistry. 2010. № 121. P. 251-256.
44. Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromatografia líquida de alta eficiência / F.O. Silverio [et al.] // Quim. Nova. 2012. V. 35, № 10. P. 2052.
45. Применение ацетонитрила для извлечения двухатомных фенолов из водно-солевых растворов с последующим определением методом ВЭЖХ / Е.А. Подолина [и др.] // Ж. аналит. химии. 2008. № 5. С. 514-518.
46. Поверхностное и межфазное натяжение в компонентах экстракционной системе ацетонитрил – водно-солевой раствор / Е.А. Хорохордина [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. №4. С. 344-348.
47. Ацетонитрил – уникальный растворитель для жидкостной хроматографии и экстракции / О.Б. Рудаков [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. № 3. С.42-47.
48. Низкотемпературная жидкостная экстракция как метод пробоподготовки образцов фенола для обращенно-фазовой ВЭЖХ / Е.А. Подолина [и др.] // Ж. аналит. химии. 2010. Т. 65, № 2. С. 121-123.
49. Низкотемпературная жидкостно-жидкостная экстракция фенолов из водных растворов гидрофильными смесями экстрагентов / О.Б. Рудаков [и др.] // Ж. физич. химии. 2016. Т. 90, №8. С.1257-1260.
50. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография и ее применение в анализе вод. М.: МГУ, 1990. 197 с.
51. Field-flow fractionation in bioanalysis: A review of recent trends / B. Roda [et al.] // Analytica Chimica Acta. 2009. V. 635, № 2. P. 132-143.
52. Schimpf M., Galldwell K., Giddings C. Field Flow Fractionation Handbook. New York: Wiley-Interscience, Inc, 2000. 616 p.

53. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии / О.Б. Рудаков [и др.]. Воронеж: Водолей, 2004. 528 с.
54. Алексеева К. В. Пиролитическая газовая хроматография. М.: Химия, 1985. 256 с.
55. Шаповалова Е.Н., Пирогов А.В. Хроматографические методы анализа. Изд-во МГУ, 2007. 109 с.
56. Газовая хроматография будущего: колонки, время которых пришло / В.Н. Сидельников [и др.] // Успехи химии. 2016. Т. 85, № 10. С. 1033-1055.
57. Рудаков О.Б. Хроматографический контроль качества и безопасности строительных материалов //Тез. Докл. V Всеросс. Симп. "Кинетика и динамика обменных процессов", Сочи, 30 окт.- 6 нояб. 2016. М. Граница, 2016. С. 48-49.
58. Рудаков О.Б. Хроматография в решении проблем химического анализа современных строительных и технических материалов //Мат. НПК «Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой отраслях промышленности» ВГУИТ, Воронеж, 26 окт. 2016 г. ВГУИТ, С. 254-259.
59. Рудаков О.Б. Проблемы аналитического контроля качества и безопасности строительных материалов//«Аналитика Сибири и Дальнего Востока»: мат. Всеросс. X Научн. конф. (12-17 сент. 2016). Барнаул. АлтГУ, 2016. С.13.
60. Хорохордина Е.А., Хорохордин А.М., Рудаков О.Б., Глазков С.С. Определение органического экотоксиканта в эпоксидной смоле// Мат. НПК «Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой отраслях промышленности» ВГУИТ, Воронеж, 26 окт. 2016 г. ВГУИТ. С. 265-268.
61. Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Грошев Е.Н., Хорохордин А.М. Хроматография в контроле качества и безопасности строительных материалов//Аналитика и контроль, 2016. №4. С. 254-265.

Рудаков Олег Борисович – д.х.н, профессор, заведующий кафедрой химии ВГТУ (ВГАСУ). E-mail: robi57@mail.ru. Tel: (473) 2-71-76-17.

Хорохордина Елена Алексеевна – к.х.н., доцент кафедры химии ВГТУ (ВГАСУ).

E-mail: chorochoordina@mail.ru. Tel: (473) 2-71-76-17.

Хорохордин Алексей Митрофанович - аспирант кафедры химии ВГТУ (ВГАСУ), начальник ЦКП им. проф. Борисова Ю.М. E-mail: a_horochoordin@mail.ru. Tel: (473) 2-71-76-17.

ПОЖАРНАЯ, АВАРИЙНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 338.2:504.03

Е.А. Жидко, В.С. Муштенко

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПУТЯМ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

В статье рассматривается проблема обеспечения безопасного и устойчивого (антикризисного) развития хозяйствующих субъектов на примере приоритетных объектов защиты, заданных доктриной информационной безопасности РФ. Сформулированы рекомендации по путям решения проблемы глобальной оптимизации в социально-эколого-экономическом аспекте

Ключевые слова: *Экологическая безопасность, информационной безопасности, окружающая среда*

Е.А. Zhidko, V.S. Mushtenko

RECOMMENDATIONS FOR WAYS TO THE PROBLEM OF GLOBAL OPTIMIZATION IN SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC ASPECT

The article deals with the problem of providing safe and sustainable (crisis) development of economic entities on the example of the priority objects of protection specified by the information security doctrine of the Russian Federation. Formulated recommendations for solutions to the problem of global optimization in socio-ecological-economic aspect

Keywords: *Environmental security, information security, environment*

На современном этапе одной из актуальных проблем обеспечения безопасного и устойчивого (антикризисного) развития хозяйствующих субъектов (ХС) является их защищённость от угроз нарушения информационной безопасности (ИБ) с негативными последствиями для личности, общества, государства и самих ХС. Проблема должна решаться в контексте противоборства договаривающихся сторон на политической арене и конкурентной борьбы в социально-эколого-экономическом (СЭЭ) аспекте. В [1] отмечаются недостатки в её обеспечении на современном этапе. Один из них, это: «противоречивость и неразвитость правового регулирования общественных отношений в информационной сфере экологически опасных и экономически важных производств (далее ХС).

Анализ причин противоречивости и несовершенства правового регулирования общественных отношений в информационной сфере в экологическом аспекте показал, что на момент формирования норм экологической безопасности ХС были совершены серьёзные промахи и ошибки в трактовке сущности антропогенных воздействий человека на природу, отношений между ними, их последствий в СЭЭ аспекте [1]. Отсюда недоговорённости сторон в вопросах нормирования таких воздействий, противоречивость и неразвитость механизмов регулирования и санкций за нарушения норм экологической безопасности.

Анализ реально полученной информации об уровнях загрязнения окружающей среды (ОС) в зоне действия исследуемых ХС и сопоставление с принятыми нормами экологической безопасности показал следующее [2-5]:

- противоречивость нормативов на санитарно-защитные зоны в реально складывающейся обстановке и тенденциями её развития;

- как следствие, снижение возможностей природы поддерживать качество и безопасность жизни населения на нормальном уровне в исследуемых районах;
- потери конкурентоспособности ХС, их продукции на внешних и внутренних рынках.

Проанализировав современное состояние ОС Центрально-Черноземного региона (ЦЧР), можно отметить, что назрела необходимость введения мер, способствующих изменению экологического поведения организаций. При включении природоохранного аспекта в проекты модернизации и реконструкции многие экологические проблемы решались бы гораздо эффективнее. Новые технологии позволяют применять прогрессивные методы обработки сточных вод, включающие повторное использование воды и замкнутые циклы, предотвращать образование отходов, экономить энергию, встраивать систему мониторинга.

Таким образом, прогнозирование загрязнения, получение достоверной информации о состоянии ОС возможно только при условии наличия большого количества данных. В результате представляется возможным сформулировать рекомендации по путям решения проблемы глобальной оптимизации с учётом результатов проведенных исследований и экологического фактора [2,6]. Проведенный анализ позволяет предложить следующую стратегию перспективного развития ЦЧР (рис. 1.) [2,3].

В интересах количественного и качественного обоснования уровня эколого-экономической устойчивости производства предлагается рассматривать следующую группу показателей его деятельности [2]:

- рентабельность предприятия (как показатель его экономической устойчивости);
- темп роста объема производства (для нивелирования влияния конъюнктурных факторов);
- платежи за загрязнение окружающей природной среды (как показатель собственно экологической устойчивости).

В своём послании Федеральному собранию на 2016 год президент РФ поставил задачу создания современной эффективной системы управления в природоохранной сфере. Для чего необходимо уже сейчас решить следующие вопросы:

- оценить реальное состояние всех загрязнённых территорий и рассматривать результаты такой оценки как стартовый уровень для осуществления программ минимизации негативного воздействия на ОС и накопленного ранее экологического ущерба;
- разработать нормативы качества ОС с учётом особенностей состояния конкретных территорий;
- сформировать экологическое мышление у нашего гражданского общества, привить ему сознание о необходимости ведения здорового образа жизни, как одного из главных условий для решения демографических проблем;
- критерием оценки эффективности органов власти на местах должны стать показатели качества ОС как одного из главных аргументов качества жизни и социально-экономического развития территорий.

Таким образом, будет создана постоянно действующая система управления на основе взаимосвязанных моделей, обеспечивающих решение широкого круга задач по улучшению экологической обстановки.

Ключевую роль в решении таких вопросов играет концепция формирования стратегического видения перспективных направлений развития теории и практики обеспечения ИБ систем управления ХС [7]. Тем более, что предупреждение угроз возникновения чрезвычайных ситуаций в результате возникновения природных катаклизмов и антропогенного воздействия человека на ОС является приоритетной задачей, согласно требованиям доктрины [1].

В интересах формирования приоритетных рядов внешних и внутренних рынков ХС следует воспользоваться в комплексе SEET (социум, экология, экономика, технологии) и SWOT анализом в контексте:

«цель – ситуация – проблемы – решения – побочные эффекты»;

«намерения и действия – противодействие им – ответные меры – т.д.».

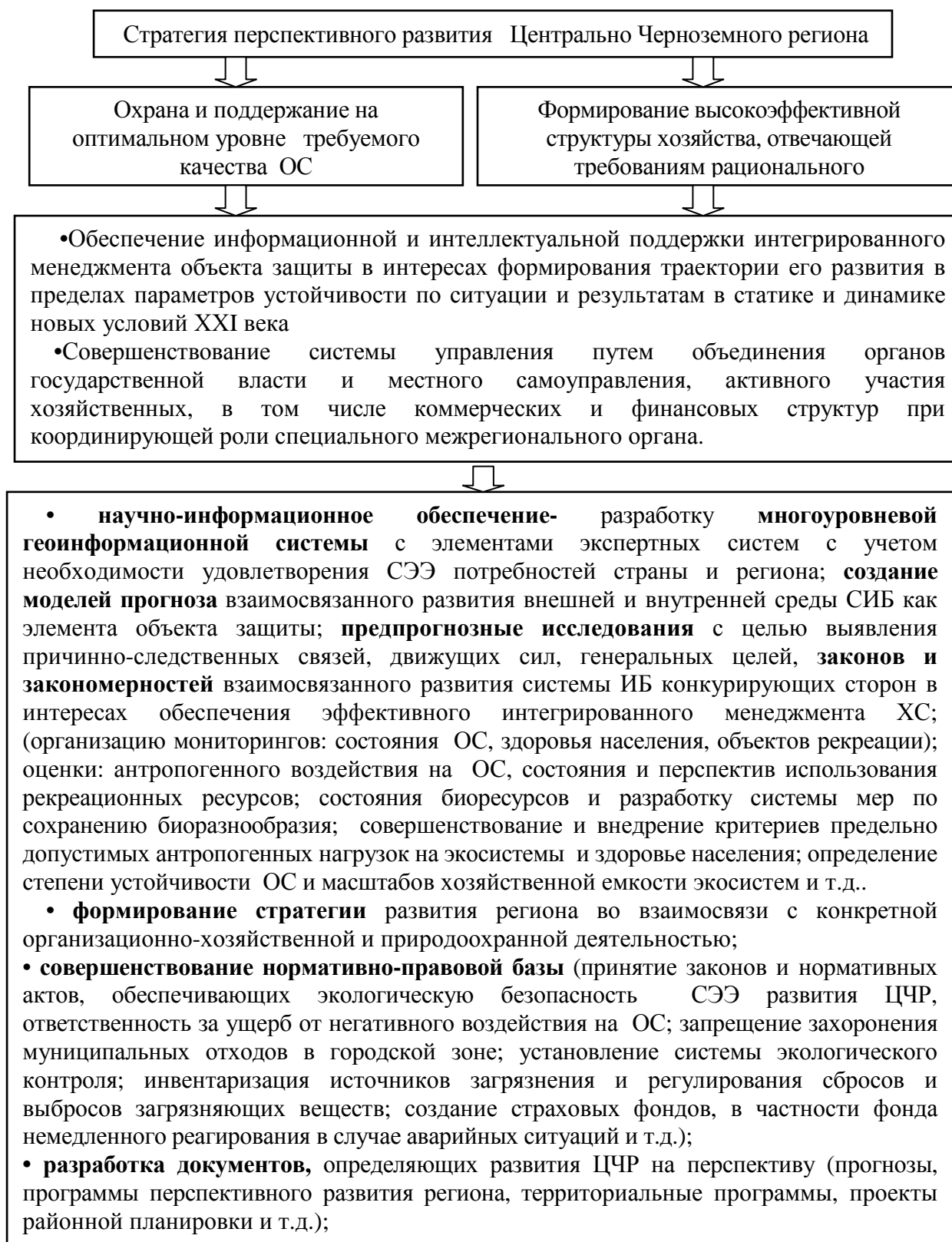


Рис. 1. Стратегия перспективного развития ЦЧР

Для проведения таких исследований необходимо иметь научно-методическое обеспечение ИБ ХС, их системы ИБ [8-12]. Такое обеспечение должно базироваться на теоретических, эффективных (эмпирических) и эквентологических [13] исследованиях с использованием системы моделей, координат и измерительных шкал в контексте [14]:

синтаксис, семантика, математическое моделирование (иерархические, функциональные и процессные модели) взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды ХС.

Анализ состояния вопроса глобальной оптимизации в экологической сфере показал, что она должна базироваться на формировании синергетического (т.е. мультипликативного, интеграционного) эффекта в результате интеграции системы экологического менеджмента (СЭМ) в общую систему управления (рис.2) [2].



Рис. 2. Формирование синергетического эффекта в результате интеграции системы экологического менеджмента в общую систему управления промышленного предприятия

Тогда в интересах глобальной оптимизации следует принять в качестве базового алгоритма анализа состояния защищённости ХС от угроз нарушения его экологической безопасности с критическими и/или неприемлемыми последствиями (рис.3) [2].

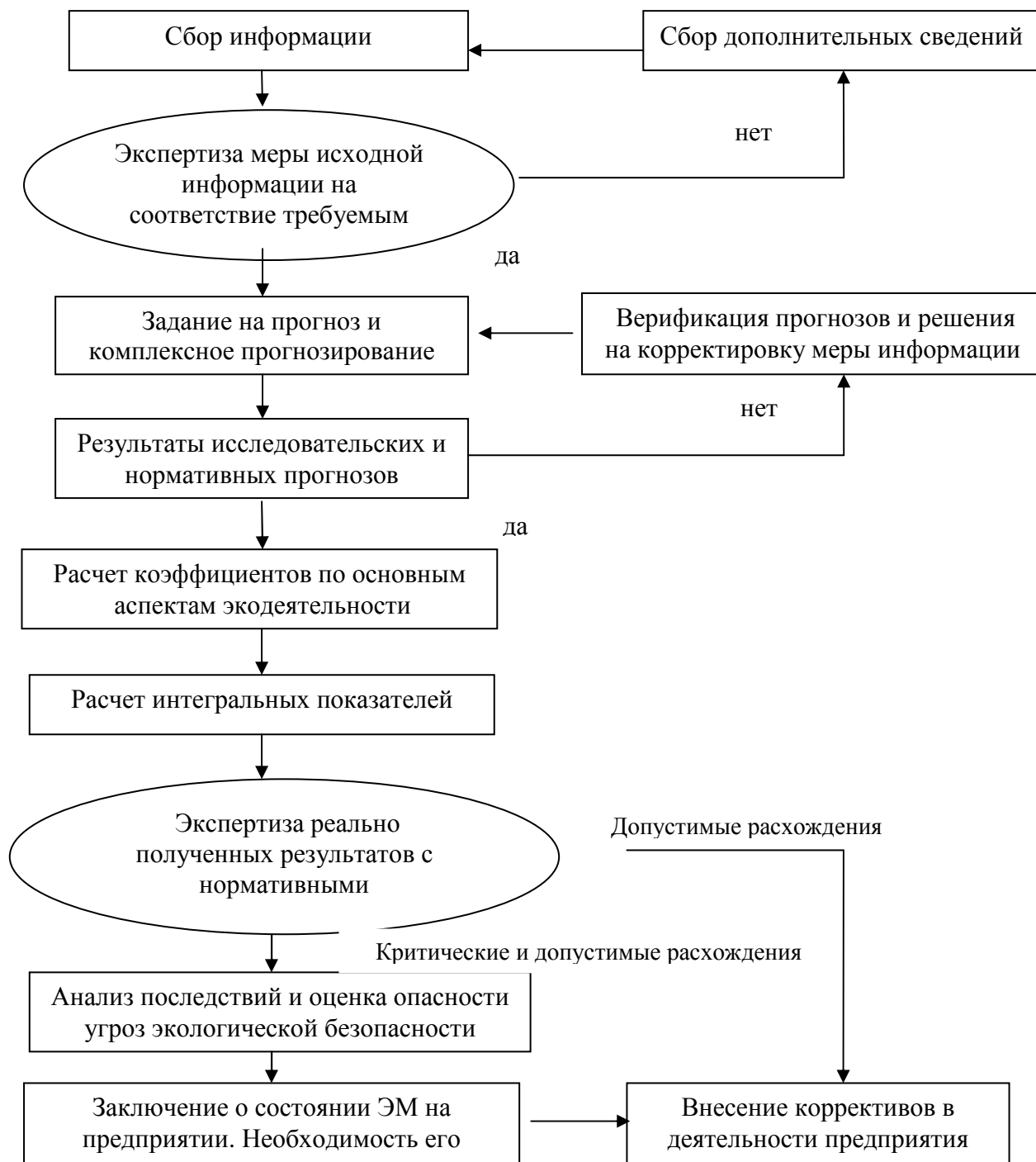


Рис. 3. Базовый алгоритм анализа состояния защищённости предприятия от угроз нарушения его экологической безопасности

В результате формируется СЭМ предприятия с учётом её влияния на повышение эффективности производства в интересах обеспечения конкурентоспособности на мировом уровне его самого и выпускаемой им продукции. Нетрудно видеть, что изложенный подход к использованию предложенного базового комплекса алгоритмов согласуется с программой «Эксперт» В.С.Ефремова [7], которая разработана в интересах оптимизации структуры пространства стратегических позиций ХС на внешних и внутренних рынках. Целевая направленность программы – формирование обучающих выборок на внутристрановом и

корпоративном уровнях, которое базируется на статистических данных и качественных оценках ситуации.

Список литературы

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации: утв. Президентом РФ 9 сентября 2000 г., № Пр-1895 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html>.
2. Жидко Е.А. Методология исследований информационной безопасности экологически опасных и экономически важных объектов: монография / Е.А. Жидко; Воронеж. гос. арх-строит. ун-т. - Воронеж, 2015. - 183 с.
3. Жидко Е.А., Муштенко В.С. Анализ состояния атмосферы в регионе и социально-экономические последствия загрязнения окружающей среды /Е.А. Жидко. В.С. Муштенко// Высокие технологии в экологии. Воронеж, 2008. С. 69-74.
4. Жидко Е.А., Муштенко В.С. Методический подход к идентификации экологического риска, учитываемого в деятельности предприятия/Высокие технологии. Экология. 2011. № 1. С. 11-14.
5. Сазонова С.А. Обеспечение безопасности гидравлических систем при реализации задач управления функционированием и развитием // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2016. - № 1 (18). - С.22-26.
6. Жидко Е. А. Высокие интеллектуальные и информационные технологии интегрированного менеджмента XXI века: монография. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 2014. – 76 с.
7. Ефремов В.С. Стратегическое планирование в бизнес – системах. – М.: Издательство «Финпресс» 2001. – 240 с.
8. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Логико-вероятностно-информационное моделирование информационной безопасности / Е.А. Жидко, Л.Г. Попова // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2014. № 4. С. 136-140.
9. Сазонова С.А. Методы обоснования резервов проектируемых гидравлических систем при подключении устройств пожаротушения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2015. - № 4 (17). - С. 22-26.
10. Жидко Е.А. Методология формирования единого алгоритма исследований информационной безопасности// Вестник Воронежского института МВД России. 2015. № 1. С. 62-69.
11. Жидко Е. А., Попова Л. Г. Информационная и интеллектуальная поддержка управления развитием социально-экономических систем // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 10 (93). С. 12-19.
12. Жидко Е. А. Научно-обоснованный подход к классификации угроз информационной безопасности // Информационные системы и технологии. 2015. № 1 (87). С. 132-139.
13. Воробьев О.Ю. Эвентология /О.Ю. Воробьев, Сиб.фед. ун-т.-Красноярск, 2007, 434 с.
14. Жидко Е.А. Методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности объекта защиты//Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 17-22.

Жидко Елена Александровна – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: lenag66@mail.ru. Тел.89103454613
Муштенко Владимир Сергеевич – к.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики Воронежского государственного технического университета. E-mail: moucht@inbox.ru. Тел.(473)2-22-04-26

ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 331.45: 574

М.В. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ОБЕЗПЫЛИВАНИЕ ВЫБРОСОВ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДАХ

Представлены данные о пылеулавливающих установках используемых на асфальтобетонных заводах для обеспечения безопасности труда работающих.

Ключевые слова: *очистка выбросов в атмосферу, асфальтобетонные заводы, охрана труда*

M.V. Manohin, S.A. Sazonova, S.D. Nikolenko, V.Ja. Manohin

DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE DECISIONS FOR THE PROTECTION OF CLEANING OF EMISSIONS FROM DUST AT ASPHALT-CONCRETE PLANTS

Presents data on the heat of the capture plant used in asphalt-concrete plants to ensure the safety of workers.

Keywords: *clean emissions, asphalt plants, occupational*

Высокие требования, предъявляемые к очистке выбросов вредных веществ в атмосферу на асфальтобетонных заводах (АБЗ), вызывают необходимость создания высокоэффективных комбинированных установок на базе сухих одноступенчатой или двухступенчатой установок в комбинации с мокрым пылеуловителем. В этом случае обеспечиваются утилизация сухой пыли и последующий ее возврат в технологический процесс приготовления асфальтобетонной смеси, а также очистка выбросов от пыли до концентраций, не превышающих допустимые ($30-112 \text{ мг/м}^3$).

С этой целью целесообразно использовать трехступенчатую установку, состоящую из циклонов СДК-ЦН-34, используемых в качестве первой и второй ступени, и пылеуловитель мокрый вентиляционный ПВМ. Параметры циклона второй ступени отличаются от параметров циклона первой ступени очистки лишь удвоенной высотой конической части и шириной входного патрубка. Эффективность установки близка к 99,94%.

Двухступенчатая пылеулавливающая установка состоит из сухого циклона типа "Матрешки", где улавливаются частицы пыли размером более 10 мкм и гидродинамического пылеуловителя для более мелкодисперсной пыли. Гидродинамический пылеуловитель состоит из четырех фигурных сопел, по которым соосно с ним установлены чаши с патрубками в днище. Конфигурация сопел и чаш, а также их расположение, обеспечивают образование газовой смеси, которая увлажняет частицы мелкодисперсной пыли. Смесь пыли с водой удаляется из бункера в отстойник или вакуум-фильтр. Коэффициент эффективности очистки установки достигает 99%.

Трехступенчатая система пылеулавливания используется на асфальтосмесительной установке Д-508. Установка состоит из дымососа-пылеуловителя ДП-10 с циклоном ЦН-24 в качестве первой ступени очистки, группового циклона (четыре циклона СЦН-40) - второй ступени, а также мокрого пылеуловителя ПВМ-20 с пылевым вентилятором ЦП7-40 №8. В процессе работы возможно отключение третьей ступени с помощью поворотной заслонки.

Пылеулавливающая установка модели ЦКБ Т-301 предназначена для очистки газов от пыли и не сгоревших частиц топлива, выделяемых при работе асфальтосмесителей типа Г-1 и МГ-1.

Использование этой установки позволяет улучшить санитарные условия. Производительность вентиляторов установки ЦКБ Т-301 - 10 тыс. м³/ч, две ступени очистки (первая ступень - 12 циклов ВИНТ, вторая - циклон СИОТ), эксплуатационная эффективность очистки - 70-90%.

При неблагоприятных условиях на промышленной площадке концентрация загрязняющего вещества не должна превышать 0,3 ПДК рабочей зоны. Данные замеров запыленности воздуха на АБЗ в рабочей зоне при работе смесителя МГ-1 показывают, что наибольшее пылевыведение наблюдается от неплотностей в присоединении дымогарной трубы к сушильному барабану. Так, на расстоянии 0,5 м от дымогарной трубы содержание пыли превышает 500 мг/м³. Концентрация пыли нарастает в точках, где суммируются вредные выделения от дымогарной трубы и от загрязнения бункера смесителя.

Содержание пыли в воздухе в одной и той же точке колеблется в значительных пределах в зависимости от подвижности воздуха (силы ветра, направления). Загрузка транспортных средств асфальтобетонной смесью сопровождается максимальным пылевыведением. Результаты инвентаризации показывают, что фактическое значение выбросов пыли для смесительных установок находится в пределах от 0,5 до 38,5 г/с. В отдельных случаях максимальные значения массовых выбросов достигают 130 г/с. При этом максимальные значения концентрации пыли относятся к смесительным установкам без очистки или с сухой системой очистки. Для одного типа смесителя (например, Д-508) фактические значения выбросов пыли могут отличаться примерно на порядок, что свидетельствует о неэффективности и нестабильности работы системы очистки.

Наименьшая концентрация пыли в выбросах характерна для смесительных установок типа Д-645-2. Снижение уровня выбросов пыли на смесительных установках в основном зависит от повышения эффективности работы пылеулавливающих устройств (сюда относятся технические характеристики, профилактические осмотры, ремонт).

Фактическое значение выбросов окиси углерода для смесительных установок на исследованных предприятиях находится в пределах от 0,25 до 2,3 г/с, при этом на смесителях с системой мокрой очистки уровень выбросов окиси углерода не превышает 1 г/с. Результаты измерений фактических выбросов углеводородов нефти показывают, что в основном уровень этих выбросов составляет примерно 3 г/с, хотя в отдельных случаях, например для смесителя типа МГ-1, достигает 8,4 г/с. Максимальное значение массового выброса сернистого ангидрида составляет 4,75 г/с, а окислов азота - 0,225 г/с.

По значениям массовых выбросов пыли М (т/год) и производительности смесителей Q (т/ч) было найдено отношение η , показывающее, сколько тонн пыли приходится на 1 т асфальтобетонной смеси в год. Среднее значение $\bar{\eta} = 2,5 \cdot 10^{-3}$. Расчет производился по данным 59-ти смесителей. Среднее значение первоначальной концентрации $\bar{C}_1 = 2,92 \text{ г/м}^3$. Для смесителей с одной ступенью очистки (сухая очистка) среднее значение концентрации пыли до очистки $C_1 = 14,00 \text{ г/м}^3$, после - $C_1 = 3,64 \text{ г/м}^3$. Степень очистки при этом равняется 74%. По 10-ти смесителям с двумя ступенями очистки получены следующие характеристики: $\bar{C} \approx 6,54 \text{ г/м}^3$, $\bar{C}_1 \approx 4,87 \text{ г/м}^3$, $\bar{C}_2 \approx 1,26 \text{ г/м}^3$, где \bar{C} - среднее значение первоначальной концентрации, г/м³; \bar{C}_1 - среднее значение концентрации после первой ступени очистки, г/м³; \bar{C}_2 - среднее значение концентрации после второй ступени очистки, г/м³. Степень очистки после первой ступени - 26%, а после второй по отношению к результатам первой - 74%; после первой и второй - 81%. Первоначальные концентрации отходящих вредных веществ составляют: неорганическая пыль - 23500 мг/м³; углеводороды - 217 мг/м³; сернистый газ - 16 мг/м³; окись углерода - 0,8 мг/м³; окислы азот - 0,07 мг/м³; фенол - 0,68 мг/м³.

Удельное количество отходящих вредных веществ на 1 т асфальтобетонной смеси составляет: неорганическая пыль - 15,04 кг/т; углеводороды - 0,14 кг/т; сернистый газ - 0,01 кг/т; окись углерода - 0,0005 кг/т; фенол - 0,0004 кг/т; окислы азота - 0,000045 кг/т.

Данные по концентрациям и удельным выбросам пыли для различных смесительных установок представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные по концентрациям и удельным выбросам пыли для смесительных установок

Марка асфальтосмесительной установки	Концентрация пыли в газах, прошедших очистку, г/м ³	Удельный выброс пыли, г/с
Г-1	20,0	56,0
Д-597	6,7	18,7
Д-597А	7,5	33,0
Д-508-2А	7,5	33,0
Д-225	7,5	10,5
Д-617	11,25	93,4
Д-645-2	2,0	25,0

Первоначальные концентрации отходящих от АБЗ загрязняющих веществ ориентировочно составляют: неорганическая пыль - 23,5 г/м³; сернистый газ - 0,016 г/м³ (при работе на газе не учитывается); оксид углерода - 0,0008 г/м³; оксиды азота - 0,00007 г/м³.

Неорганизованные выбросы загрязняющих веществ от технологического оборудования составляют примерно 17,5 кг на 1 т горячей асфальтобетонной смеси.

Анализ пылевых выбросов показывает, что они представлены в основном мелкозернистыми фракциями 0,071-5 мм. В условиях сушильных барабанов при учете вышеуказанного фракционного состава исходных материалов от них может удаляться соответственно от 22 до 14,7% пыли от общей массы исходных материалов. Характерным при этом является то, что в отсеве пылесодержание значительно выше, чем в природном песке. Коэффициент уноса (отношение общего количества удаленной пыли, частиц песка и мелкодисперсного щебня к количеству уносимой пыли) изменяется в пределах 1,1-1,3 и прямо пропорционален скорости газа в сушильном барабане $V = 2-3$ м/с. При этом оценка пылевыделения для различных видов асфальтобетонных смесей производится по номограмме для определения пылевыделения из сушильных барабанов (рисунок). Для этого необходимо по номограмме определить выход пыли отдельно для отсева и природного песка, а затем, суммируя эти две величины, определить общее пылевыделение из сушильного барабана на 1 т асфальтобетонной смеси.

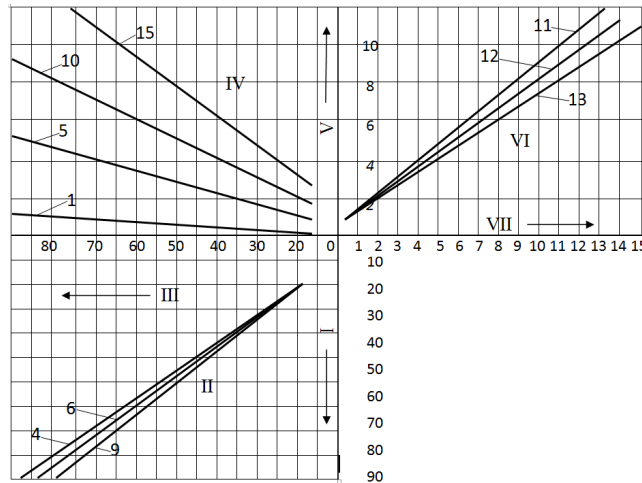


Рисунок. Номограмма для определения пылевыделения из сушильных барабанов: I - процентное содержание песка в минеральной основе; II - процентное содержание вяжущих материалов; III - процентное содержание песка в смеси; IV - процентное содержание пыли в песке; V - процентное содержание пыли в смеси; VI - коэффициент уноса; VII - пылевыделение, %

Пыль на выходе из сушильного барабана относится к третьей средне дисперсной группе, а на входе в мокрый пылеуловитель – к четвертой мелкодисперсной группе при

плотности в среднем $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$. В табл. 2 представлены параметры пылеуловителей, используемых на АБЗ с данными по эффективности очистки от пыли.

Таблица 2

Параметры пылеуловителей с данными по эффективности очистки от пыли

Марка асфальто-смесительной установки	Производительность т/ч	Используемые в комплекте очистительные устройства	Объем очищаемых газов, м ³ /ч	Эффективность очистки от пыли, %, по данным		
				А.И. Пирумова [1]	замеров на АБЗ Воронежской области	Минтранс-строя
Д-138 (Г-1)	20	-	-	-	-	-
Д-225	12,5	Циклоны НИИОГа	5000	65-85	75-78	75-85
Д-597 Д-325	25 25	первая ступень - циклоны НИИОТ ЦН-15 Ø 500 (4 шт.)	10000	65-85	82	75-85
Д-597	25	первая ступень - циклоны НИИОТ ЦН-15 Ø500 (4 шт.);	10000-12000	75-90	98	75-95
		вторая ступень - барботажный пылеуловитель "Светлана"	10000-12000	75-90	98	75-95
Д-597 Д-508-2А	25-35 25	первая ступень - циклоны СДК-ЦН-33 Ø 800 (4 шт.)	14000	65-85	70 (без СИОТ)	75-85
		вторая ступень - СИОТ	14000	85	70 (без СИОТ)	75-95
Д-617-2	50	а) первая ступень - циклоны НИИОГАЗ ЦН-15 Ø650 (6 шт.)	30000	65-85	85	75-85
		вторая ступень - СИОТ	30000	65-85	85	75-85
		б) первая ступень - циклоны НИИОГАЗ ЦН-15 Ø650 (8шт.)	30000	65-85	85	75-85
		вторая ступень - ротоклон	30000	65-85	85	75-85
Д-645-2	100	первая ступень - циклоны НИИОГАЗ ЦН-15 Ø700 (12 шт.)	35000-45000	80-90	85	75-85
		вторая ступень - ротоклон	35000-45000	80-90	85	75-85

По степени очистки ε и коэффициенту полезного использования η сведения по сухим и мокрым пылеуловителям представлены в табл. 3.

Коэффициент полезного использования η определяется по формуле

$$\eta = \tau_{\phi} / \tau_n, \quad (1)$$

где τ_{ϕ} - фактическое время полезного использования, ч; τ_n - плановое время полезного использования, ч.

Таблица 3

Сведения по сухим и мокрым пылеуловителям по степени очистки ε и коэффициенту полезного использования η

Типы пылеуловителей	ε , %	η , %
Сухие пылеуловители		
Циклоны НИИГАЗ ЦН-15	65-85	100
Циклоны СДК-ЦН-33	75-90	100
Мультициклоны 250	80-90	100
Мокрые пылеуловители Ротоклон	80-90	95

Барботажный пылеуловитель "Светлана"	75-90	90
Барботажный пылеуловитель ГПМШ	75-85	90
Циклон-промыватель СИОТ	65-85	100
Скруббер Вентури	95-98	100

Комплексный подход к проблеме очистки газов на АБЗ при пыле-газоулавливании и очистке организованных и неорганизованных выбросов является определяющим при решении проблемы защиты атмосферы на АБЗ и при обеспечении требуемого уровня безопасности труда [2, 3, 4, 5]. При обеспечении безопасных условий труда на АБЗ [6, 7, 8, 9] необходимо дополнительно учитывать возможные опасности производственного процесса при подаче газа, необходимого для подогрева асфальтобетона. Не герметичность трубопроводных систем подающих газ для технологического процесса, а так же возможные выбросы мазута, могут привести к авариям [10] с выбросами опасных веществ и взрывами, влекущие за собой опасность для жизни и здоровья работающих на АБЗ. Техническая диагностика трубопроводных гидравлических систем выполняется на основе программной реализации соответствующих математических моделей [11].

Совместно с рассматриваемой задачей, для обеспечения безопасности труда на производстве, потребуется комплексное решение целого ряда вспомогательных инженерных задач, относящихся к задачам оценке выбросов опасных веществ с учетом особенностей приготовления различных цемента-содержащих материалов и конструкций, например таких, как рассмотрены в работах [12, 13, 14].

Так как на АБЗ имеют место вредные производства, то необходимо дополнительно рассмотреть сопутствующие экологические задачи [15, 16]. Комплексное решение рассмотренных задач с последующей оценкой результатов и принятием необходимых мер по улучшению условий труда и обеспечению безопасности труда на вредных и опасных производствах при условии минимизации техногенного риска является направлением дальнейших исследований.

Список литературы

1. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1974. 215 с.
2. Сазонова, С.А. Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации оценки условий труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин, В.Я. Манохин, Е.И. Головина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 1 (12). С. 15. <http://moit.vivt.ru/>
3. Головина, Е.И. Интегральная балльная оценка тяжести труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов в условиях высокой запыленности рабочей зоны / Е.И. Головина, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 95-98.
4. Сазонова, С.А. Охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 111-114.
5. Манохин, М.В. Охрана труда и расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке асфальтобетонного завода / М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 104-107.
6. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда и мероприятия по защите атмосферы на асфальтобетонных заводах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин,

М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 108-110.

7. Манохин, М.В. Требования к безопасности труда и пожаровзрывобезопасность при эксплуатации асфальтобетонных заводов / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 16 - 21.

8. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда при погрузочно-разгрузочных работах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 22 - 27.

9. Сазонова, С.А. Безопасность труда при эксплуатации машин и оборудования на асфальтобетонных и цементобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 28 - 33.

10. Николенко, С.Д. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2016. №1. С. 151-153.

11. Сазонова, С.А. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 255-264.

12. Николенко, С.Д. Особенности технологических схем приготовления фибробетона / С.Д. Николенко, А.Н. Ткаченко, Д.В. Федулов // В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Пенза, 2007. С. 320-323.

13. Сооружение, возведенное на несъемной пневматической опалубке / С.Д. Николенко, Д.А. Казаков. Патент на изобретение RUS 2371555 05.06.2008.

14. Николенко, С.Д. Экспериментальное исследование работы фибробетонных конструкций при знакопеременном малоцикловом нагружении / С.Д. Николенко, Г.Н. Ставров // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1986. № 1. С. 18-22.

15. Николенко, С.Д. Влияние параметров автомобильных дорог на экологическую безопасность / С.Д. Николенко // В сборнике: Научно-методическое обеспечение создания военной инфраструктуры вооруженных сил Российской Федерации. Москва, 2009. С. 229-236.

16. Николенко, С.Д. К вопросу экологической безопасности автомобильных дорог / С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 141-145.

Манохин Максим Вячеславович – ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: fellfrostqtw@gmail.com.

Тел. 8 (473) 271-30-00

Сазонова Светлана Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: Sazonovapbb@vgasu.vrn.ru.

Тел. 8 (473) 271-30-00

Николенко Сергей Дмитриевич – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.

Тел. 8 (473) 271-30-00

Манохин Вячеслав Яковлевич – д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: manohinprof@mail.ru.

Тел. 8 (473) 271-30-00

УДК 331.45: 574

С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, М.В. Манохин

ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДАХ

Представлены данные о применяемых на асфальтобетонных заводах установках для очистки выбросов вредных веществ в атмосферу, необходимых для повышения уровня безопасности труда на опасном и вредном производстве.

Ключевые слова: охрана труда, асфальтобетонные заводы, защита атмосферного воздуха

S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, M.V. Manohin

THE PROTECTION OF ATMOSPHERIC AIR TO ENSURE SAFE WORKING CONDITIONS AT ASPHALT-CONCRETE PLANTS

Submitted data used in asphalt-concrete plants installations for the purification of harmful emissions into the atmosphere required to increase the level of occupational safety in hazardous production.

Keywords: labor protection, asphalt plants, protection of atmospheric air

В отечественных и зарубежных асфальтосмесительных установках применяются следующие типы пылеулавливающих устройств: пылеоса- дишельные камеры, циклоны большого диаметра, групповые батарейные циклоны, мокрые пылеуловители, тканевые фильтры, гравийные фильтр, электрофильтры.

Современные асфальтобетонные заводы (АБЗ) оборудованы одно-, двух- и трехступенчатыми обеспыливающими установками. В эксплуатации также находится значительное количество смесителей старого типа, не оборудованных системами пылеочистки.

В пылеочистительных установках АБЗ в основном в качестве первой ступени очистки используются циклоны сухой очистки конструкции типа СДК-ЦН-33, ЦН-15У и СУН-40, а второй ступени - мокрые пылеуловители типа СИОТ и ротоклон.

Асфальтобетонные установки Д-597А, Д-508-2, Д-617-2, Д-645-3, ДС-79 и ДС-95 укомплектованы групповыми циклонами, установки Д-508-2, Д-645-3 имеют в качестве второй ступени пылеуловителя циклон-промыватель типа СИОТ, установки Д-617-2, Д-645-2, ДС-79, ДС-95 и ДС-84-2 - мокрые пылеуловители типа ротоклонов. В таблице указаны параметры перечисленных установок.

На основе разработок ВНИИстройдормаша и НИИОГАЗа создана система, в которой в качестве первой ступени очистки установлен дымосос-пылеуловитель с выносным циклоном рециркуляции. Система пылеулавливания с циклоном рециркуляции имеет ряд существенных преимуществ. Кроме небольших габаритов и массы, по сравнению с установкой из групповых циклонов, она характеризуется высокой степенью улавливания пыли. Недостатком этой системы пылеулавливания является большой эрозионный износ дымососа-пылеуловителя (рис.1).

На АБЗ установлена трехступенчатая система очистки отходящих газов, которая улавливает частицы пыли в большом диапазоне размеров. В пылеулавливающей установке смонтированы последовательно три ступени очистки: инерционный пылеуловитель ЦНИЛАС КТИС № 8,5 с циклоном НИИОГАЗ (улавливают частицы размером до 15 мкм) и мокрый гравийный фильтр. Для отсоса от дымовой трубы и загрузочного бункера использован пылевой вентилятор ЦВ-46 № 8 производительностью 1500 м³/ч.

Опыт работы пылеочистительной установки показал ее высокую эффективность. В среднем за смену она задерживает $3,5 \text{ м}^3$ пыли, обеспечивая очистку воздуха на территории асфальтобетонного завода до пределов, допустимых нормами промышленной санитарии. Концентрация пыли на территории АБЗ не превышает $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Трехступенчатая система пылеочистки характеризуется большим гидравлическим сопротивлением ($0,027 \text{ МПа}$), высокой энергоемкостью и значительными габаритами. Кроме того, при применении гравийных фильтров, расчет и эксплуатация которых недостаточно изучены, требуется частая замена гравийной массы по мере снижения их эффективности.

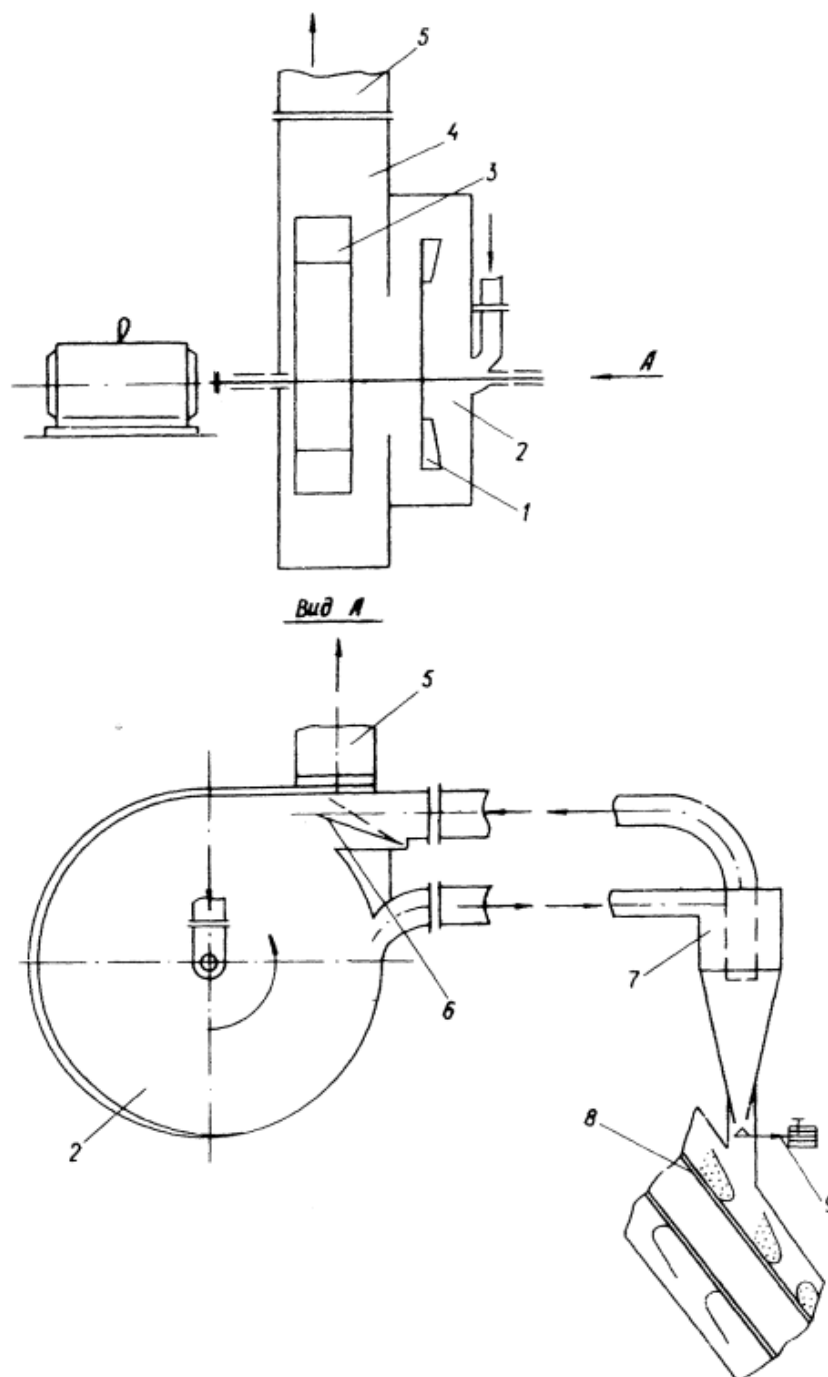


Рис. 1. Дымосос-пылеуловитель с выносным циклоном рециркуляции: 1-крыльчатка дополнительной улитки; 2-дополнительная улитка; 3-крыльчатка дымососа; 4- улитка дымососа; 5-патрубок для очищенных газов; 6-поворотная заслонка; 7-циклон рециркуляции; 8-горячий элеватор асфальтосмесительной установки; 9-затвор-мигалка

Таблица

Параметры асфальтобетонных установок

Показатели	ДС-35 (Д-597)	ДС-35А (Д-597А)	Д-508-2	ДС-П7- 2Е	Д-617-2	Д-645-2	ДС-118-4 (ДС-121)	ДС-84-2	Д-645-3	ДС-4	ДС-65	ДС-79	ДС-95
Производительность вентиляторов, м ³ /ч	15000	20000	20000	20000	30000	60000	50000	100000	60000		7300	20000	30000
Производительность, т/ч	20	20	25	25	50	100	100	200	100	-	12	25	30
Тип циклона	НИИ ОГАЗ	СДК- ЦН-33	СДК- ЦН-33	СДК- ЦН-33	ЦН-15У	ЦН-15У	СЦН-40	НИИ ОГАЗ	ЦН- 15У	НИИ ОГАЗ	ЦН- 15У	НИИ ОГАЗ	ЦН- 19У
Количество циклонов	4	4	4	4	8	12	14	3	16	1	2	15	8
Диаметр, м	450	800	800	800	500	700	-		500		600	256	500
Тип дымососа- вентилятора	ЦУ-70 №10	Д12	Д12	НИИ ОГАЗ	Д12	Д13	НИИ ОГАЗ	НИИ ОГАЗ	ВВД9- МУ-04	ВР №3	ЦП7-40 №6	Д12	Д12
Мощность электродвигателя, кВт	30	30	30	30	30	75	85,7	150	22	-	10	40	30
Количество электродвигателей	1	1	1	1	1	1	1	1	2	-	1	1	1
Тип мокрого пылеуловителя	-	СИОТ 5 0 007	СИОТ 5 0 007	-	Рото- клон	Рото- клон	-	Рото- клон	СИОТ 5 0 007	-	Рото- клон	Рото- клон	Рото- клон
Количество пылеуловителей	-	1	1	-	1	1	-	2	2	-	1	1	1
Расход воды, м ³ /ч	-	0,6	0,6	-	0,05	0,09	-	0,18	1,2	-	0,01	0,025	0,05
Расход топлива, кг/ч	280	280	280	225	545	1140	1000	2162	1140	-	137,6	300	520

В последнее время находят широкое применение барботажно- скоростные пылеуловители с очисткой газов в постоянном объеме воды. Дешевой и простой является очистка газов механическим способом. Так же применяются установки, в которых принят двухступенчатый способ очистки запыленных газов. Первая ступень состоит из батарейного циклона с девятью элементами диаметром 254 мм, она предназначена для улавливания пыли размером частиц более 10 мкм. Вторая ступень представляет собой скруббер, который очищает воздушный поток от пыли размером частиц 5-10 мкм.

Очищенные газы из скрубберов выбрасываются вытяжным вентилятором через трубу в атмосферу. Отсепарированную в батарейном циклоне пыль подают при помощи шнека диаметром 200 мм в горячий элеватор и используют для приготовления асфальтобетонной смеси. Загрязненная пылью вода из скруббера направляется в подземный отстойник, где она осветляется и подается обратно на орошение и промывку скруббера насосом.

Асфальтосмеситель Д-617 с заводской двухступенчатой системой сухой очистки газов от пыли состоит из группового циклона НИИОГАЗ и дымососа-пылеуловителя ДП-10. При работе на некондиционных материалах с повышенной влажностью, большим содержанием пыли и глинистых частиц эффективность пылеулавливания значительно снижается в результате быстрого засорения первой ступени очистки крупными частицами. Это приводит к частым остановкам завода для ручной очистки циклонов, а также к выходу из строя дымососа ДП-10.

С целью улучшения санитарного состояния АБЗ и работы асфальтосмесителя в существующую схему перед групповым циклоном дополнительно введена в первичную ступень очистки пылеосадительная камера, представляющая собой металлическую емкость объемом 30 м². Внутри пылеосадительной камеры по винтовой линии приварен стальной лист шириной 300 мм. Отсасываемый газ по газоходам попадает по касательной на винтовую линию камеры, где происходит осаждение крупных частиц. Осажденная пыль скапливается в нижней части камеры. Из пылеосадительной камеры газ, значительно очищенный от пыли, попадает во вторую ступень очистки - групповой циклон - и далее двумя дымососами ДП-10 отсасывается в атмосферу, проходя предварительно через циклоны рециркуляции, связанные с дымососами.

Непременным условием работы системы является абсолютная герметизация, исключающая подсос воздуха из атмосферы. На всех трех ступенях очистки осажденные частицы пыли периодически удаляют через затворы на ленточный конвейер, подающий ее в смесительное отделение завода.

В первую ступень очистки входит пылесадительная камера, которая улавливает и осаждает все отходящие частицы пыли размером до 1 мм. Высота камеры 4 м, диаметр - 3 м.

Вторая и третья ступени очистки состоят из группы циклонов и дымососа-пылеуловителя ДП-10, которые улавливали более мелкие частицы размером 300-700 мкм.

Система сухой трехступенчатой очистки улавливает до 90% отходящей пыли. Применение трехступенчатой с пылесадительной камерой системы сухой очистки на АБЗ дает возможность сократить выброс пыли, частиц сажи и несгоревших продуктов в атмосферу, улучшает условия эксплуатации очистительных сооружений, сокращает простой завода. Установка пылесадительной камеры позволяет произвести предварительную очистку газа от крупнодисперсной пыли, что значительно улучшает условия работы группового циклона и дымососа-пылеуловителя. При этом снижается абразивное действие пыли на дымосос ДП-10. Однако в результате введения дополнительной ступени увеличивается аэродинамическое сопротивление установки и требуется установка дополнительного дымососа ДП-10.

На АБЗ применяются установки, предназначенные для очистки отходящих газов от асфальтосмесителя Д-597. Локализация источников пылегазовыделений предусмотрена в местах загрузки сушильного барабана, горячего элеватора, грохота. Верхняя и нижняя головки сушильного барабана уплотнены. Для очистки газов, отходящих от сушильного барабана, и аспирационного воздуха от укрытий устанавливается первая ступень очистки, которая состоит из конических циклонов (СДК-ЦН-33 диаметром 800 мм). Очищенные в циклоне газы поступают в дымосос-пылеуловитель типа ДП-10, служащий одновременно тяговым средством и вместе с циклоном (ЦН-15У диаметром 500 мм) второй ступенью очистки. Эффективность установки очистки газов от пыли составляет 99%.

На рис. 2 изображена конструкция эффективного мокрого пылеуловителя, который состоит из корпуса с входным и выходным патрубками, каплеуловителя, камеры с плоскими щелевыми каналами, образованными верхней и нижней направляющими перегородками, внутри которых под углом друг к другу установлены отражательные пластины. Между нижними кромками отражательных пластин и верхними направляющими перегородками размещены карманы, зашторенные свободно висящими цепями, каплеуловителем являются ряды свободно висящих в шахматном порядке цепей.

При работе пылеуловителя поток воздуха через патрубок попадает в камеру запыленного газа и направляется пластинами к щелевым каналам, где происходит смешение газа с водой, после чего последняя попадает в камеру очищенного газа. Под действием сил инерции частицы пыли отбрасываются к стенкам направляющих перегородок щелевых каналов, смачиваются водой и оседают на дно бункера в виде шлама, который удаляется через патрубок. Очищенный от пыли воздух проходит через каплеуловитель, где отделяются капли воды, а затем через выходной патрубок выходит наружу.

В практике эксплуатации смесителей АБЗ применяются рукавные (тканевые) и зернистые (гравийные) фильтры. Тканевые фильтры имеют высокую эффективность (более 90%), которая не зависит от дисперсности пыли в отличие от широко применяемых циклонов. Имеются сведения о применении зернистого фильтра ФЗГИ (рис. 3) для очистки выбросов от сушильных барабанов при температуре газов до 400°С на стеклотарных заводах.

Установка включает групповой циклон ЦН-15 (4 циклона диаметром до 700 мм) и зернистый фильтр типа ФЗГМ с вертикальным слоем и импульсной регенерацией. Фильтрующий элемент состоит из четырех пар фильтрующих ячеек, расположенных по вертикали друг над другом, в которые насыпан слоями зернистый материал. Фильтрующие ячейки собираются между двумя боковинами и объединяются каналами треугольного сечения и общим коробом для выхода очищенного газа. В каналы помещены сопла для подачи сжатого воздуха от вертикального трубопровода, установленного внутри короба для отвода очищенного газа.

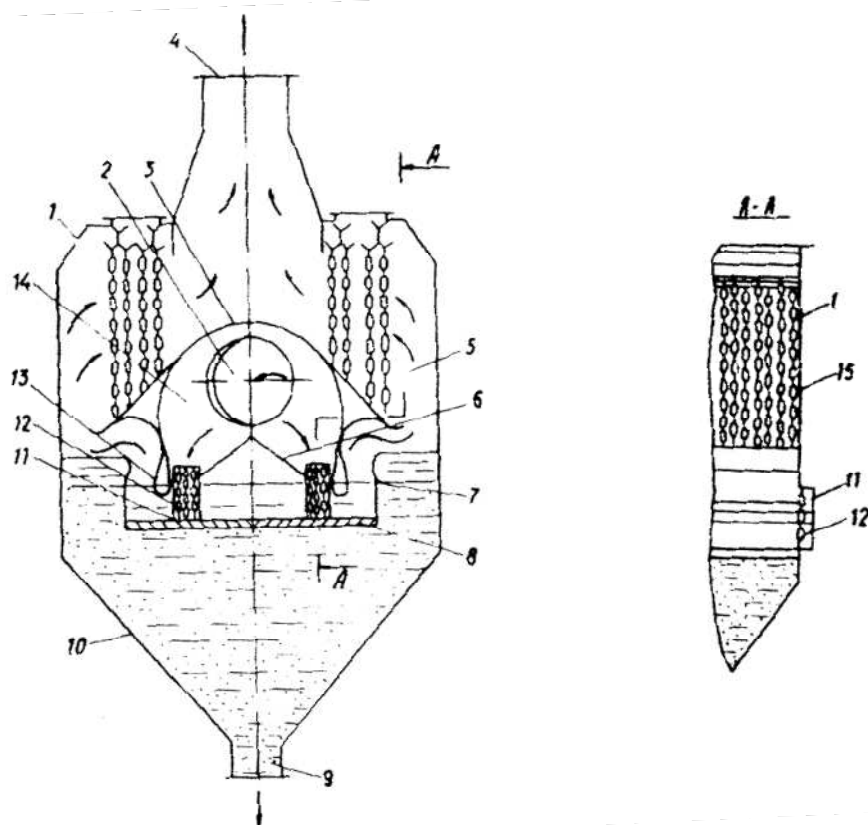


Рис. 2. Мокрый пылеуловитель конструкции НИПИОТстрома: 1-корпус; 2-входной патрубок; 3-лерегорodka; 4-выходной патрубок; 5-камера очищенного газа; 6-отражательные пластины; 7- нижняя перегородка; 8-жалюзийная решетка; 9-патрубок для удаления шлама; 10-бункер для сбора уловленной пыли; 11-карман; 12-зашторенные свободно висящие цепи; 13-верхняя перегородка; 14-камера запыленного газа; 15-каплеуловитель

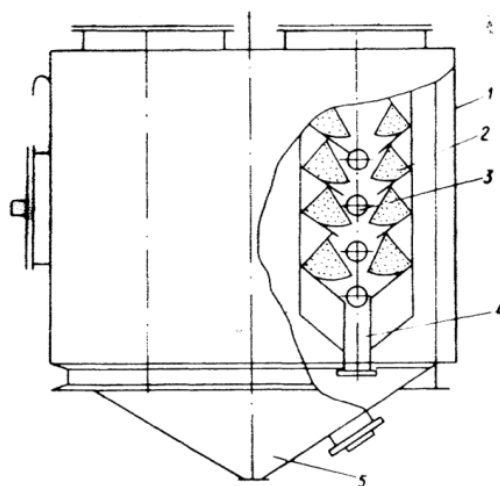


Рис. 3. Зернистый фильтр типа ФЗГИ: 1-корпус; 2-ячейки зернистого материала; 3-выходные отверстия; 4-подводящая труба; 5-бункер

Запыленные газы от сушильного барабана входят в корпус фильтра и распределяются по фильтрующим элементам, проходят через слои зернистого материала, очищаются от пыли, через треугольные каналы собираются в общий короб и удаляются из аппарата.

При повышении гидравлического сопротивления фильтра по команде системы автоматического управления включается импульс регенерации. При этом фильтрующие

элементы поочередно с помощью пневмопривода и заслонки отключаются от газовой нагрузки и в треугольные каналы под горизонтальные зернистые слои подается импульс сжатого воздуха. Запыленный зернистый слой псевдосжижается, и уловленная пыль выдувается в бункер аппарата. После этого заслонка открывается и отрегенерированный элемент включается в процесс фильтрации.

Степень очистки от пыли установки равна 92-99,9%, при этом на выходе из аппарата запыленность колеблется в пределах 11-41 мг/м³, при перепаде давления на фильтре - 890-1900 Па, что обеспечивает предельно допустимые концентрации в любом газовом режиме работы фильтра.

Наличие высоко дисперсной пыли, высокие нормативные требования к качеству атмосферного воздуха и низкая эффективность сухих пылеуловителей для частиц пыли диаметром меньше 10 мкм обусловили широкое применение в смесителях АБЗ мокрых пылеуловителей, работающих по принципу распыления очищающих газ жидкостей или направления его через слой жидкости.

Простейшим устройством мокрой очистки являются промывные камеры. Более эффективное устройство эксплуатируется в хозяйствах Автомобильной дороги Москва-Воронеж (рис. 4). Очищаемый газ после сухой ступени направляется в стационарную многосекционную камеру мокрой очистки, где в верхней части камеры через форсунки подается вода, которая стекает по стенкам камеры, смывая пыль. Шлам затем попадает в осадительную камеру, а осветленная вода вновь поступает в камеру мокрой очистки.

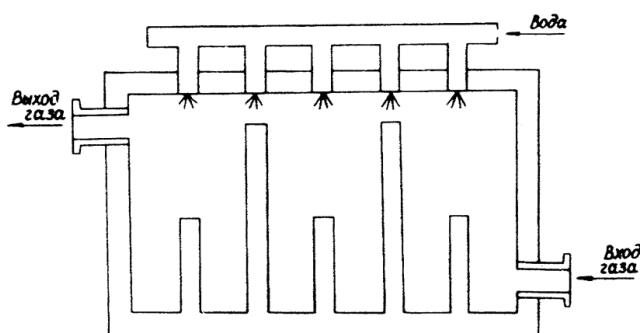


Рис. 4. Промывная камера

Более широкое распространение на АБЗ получили входящие в комплекты пылеочистительного оборудования смесителей циклон-промыватель СИОТ и ротоклоны. В СИОТе процесс пылеулавливания происходит под действием центробежных сил при осаждении пыли на мокрые стенки циклона (рис. 5).

Более часто на АБЗ применяются ротоклоны (рис. 6). Пылеулавливание происходит в результате совместного действия центробежной силы, процесса перемешивания и сил адгезии на частицы пыли при прохождении газа через слой жидкости. Входной и выходной объемы ротоклона разделены газоочистительным элементом-импеллером. При этом поток запыленного газа из входного объема поступает в щелевой канал, заполненный водой, ограниченный импеллером.

Перемешивание воды с пылегазовым потоком происходит за счет кинетической энергии потока. Преимуществом ротоклона является неизменность эффективности пылеуловителя при изменении производительности смесителя. Эффективность ротоклонов составляет 60-95%. Пылеуловитель конструкции НИКТИ ГХ аналогичен по принципу действия ротоклонам (рис. 7). Пылеулавливающие устройства успешно применяются с целью очистки газов от частиц пыли размером менее 5 мкм.

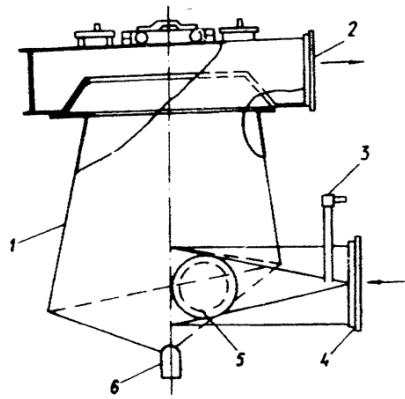


Рис. 5. Циклон-промыватель СИОТ: 1-корпус циклона; 2-патрубок выхода газа; 3-водоподводящая труба; 4-патрубок входа газа; 5-смотровой люк; 6-спускной патрубок-пламоотводчик

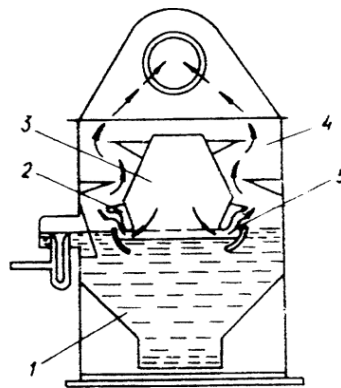


Рис. 6. Ротоклон: 1-гидрокамера; 2-импеллер; 3-камера запыленного газа; 4-камера очищенного газа; 5-пылеочистительный канал

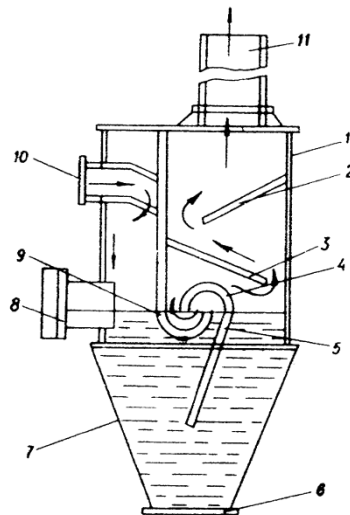


Рис. 7. Пылеуловитель конструкции НИКТИ ГХ:
1-шалиндр; 2,3-верхний и нижний отбойники; 4-импеллер; 5-делитель; 6-заглушка; 7-отстойник;
8-смотровое окно; 9-перегородка; 10-входной патрубок; 11-выпускная труба

На рис. 8 представлена принципиальная схема мокрой очистки газа с применением скруббера Вентури с дисковым распылителем.

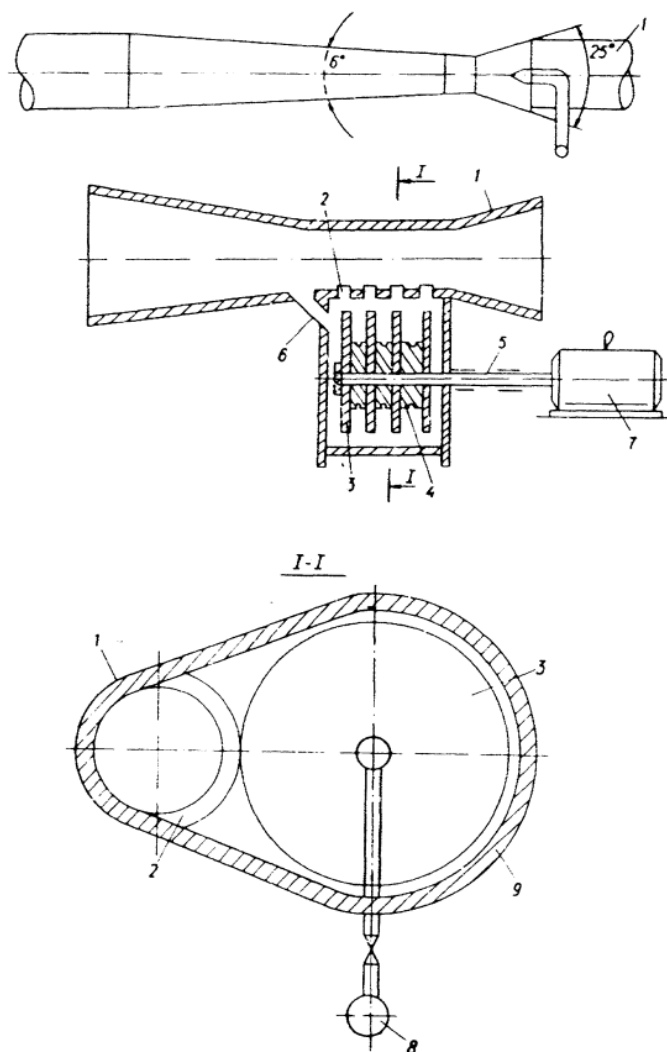


Рис. 8. Скруббер Вентури с дисковым распылителем: 1-труба Вентури; 2-щель для прохода факела распыленной жидкости; 3-диски распылителя жидкости; 4-водораспределительная шайба; 5- вал дискового распылителя; 6-сливная труба; 7-электродвигатель, 8-коллектор подвода воды; 9-корпус дискового распылителя

Комплексный подход к проблеме очистки газов на АБЗ при пыле-газоулавливании и очистке организованных и неорганизованных выбросов является определяющим при решении проблемы защиты атмосферы и при обеспечении требуемого уровня безопасности труда [1, 2, 3, 4]. При создании безопасных условий труда на АБЗ [5, 6, 7, 8] необходимо дополнительно учитывать возможные опасности производственного процесса при подаче газа, необходимого для подогрева асфальтобетона. Не герметичность трубопроводных систем подающих газ для технологического процесса, а так же возможные выбросы мазута, могут привести к авариям [9]. Техническая диагностика трубопроводных гидравлических систем выполняется на основе программной реализации соответствующих математических моделей [10].

Совместно с рассматриваемой задачей, потребуется решение вспомогательных инженерных задач, возникающих при производстве цемента-содержащих материалов, например таких, как рассмотрены в работах [11, 12]. Так как на АБЗ имеют место вредные производства, то необходимо дополнительно рассмотреть сопутствующие экологические

задачи, такие как, например рассмотренные в работах [13, 14, 15]. Защита атмосферы в условиях АБЗ представляет собой сложную проблему, требующую комплексного решения технических, организационных и методических задач, основной целью которых является повышение уровня безопасности труда при работе на вредных и опасных производствах.

Список литературы

1. Сазонова, С.А. Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации оценки условий труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин, В.Я. Манохин, Е.И. Головина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 1 (12). С. 15. <http://moit.vivt.ru/>
2. Головина, Е.И. Интегральная балльная оценка тяжести труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов в условиях высокой запыленности рабочей зоны / Е.И. Головина, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 95-98.
3. Сазонова, С.А. Охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 111-114.
4. Манохин, М.В. Охрана труда и расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке асфальтобетонного завода / М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 104-107.
5. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда и мероприятия по защите атмосферы на асфальтобетонных заводах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 108-110.
6. Манохин, М.В. Требования к безопасности труда и пожаровзрывобезопасность при эксплуатации асфальтобетонных заводов / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 16 - 21.
7. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда при погрузочно-разгрузочных работах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 22 - 27.
8. Сазонова, С.А. Безопасность труда при эксплуатации машин и оборудования на асфальтобетонных и цементобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 28 - 33.
9. Николенко, С.Д. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2016. №1. С. 151-153.
10. Сазонова, С.А. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я.

Манохин, М.В. Манохин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 255-264.

11. Николенко, С.Д. Особенности технологических схем приготовления фибробетона / С.Д. Николенко, А.Н. Ткаченко, Д.В. Федулов // В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Пенза, 2007. С. 320-323.

12. Сооружение, возведенное на несъемной пневматической опалубке / С.Д. Николенко, Д.А Казаков. Патент на изобретение RUS 2371555 05.06.2008.

13. Николенко, С.Д. К вопросу экологической безопасности автомобильных дорог / С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 141-145.

14. Николенко, С.Д. Влияние параметров автомобильных дорог на экологическую безопасность / С.Д. Николенко // В сборнике: Научно-методическое обеспечение создания военной инфраструктуры вооруженных сил Российской Федерации. Москва, 2009. С. 229-236.

15. Жидко Е.А. Методология исследований информационной безопасности экологически опасных и экономически важных объектов: монография / Е.А. Жидко. Воронеж: ВГАСУ, 2015. 183 с.

Николенко Сергей Дмитриевич – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru. Тел. 8 (473) 271-30-00

Сазонова Светлана Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru. Тел. 8 (473) 271-30-00

Манохин Максим Вячеславович – ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: fellfrostqtw@gmail.com. Тел. 8 (473) 271-30-00

УДК 331.45: 574

М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ "ГОРЯЧЕГО" ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Представлены данные о использовании различных видов топлива в топочных устройствах асфальтосмесительных установок. При этом безопасности труда на асфальтобетонных заводах будет зависеть от количества выбросов вредных веществ в атмосферу из таких топочных устройств.

Ключевые слова: *безопасность труда, асфальтобетонные заводы, топочные устройства, виды топлива*

M.V. Manohin, S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.Ja. Manohin

SAFETY IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF "HOT" PREPARATION OF ASPHALT- CONCRETE

Presents data on the use of different fuels in the combustion device asphalt-mixing plants. While safety at asphalt plants will depend on the emissions of harmful substances into the atmosphere from such combustion devices.

Keywords: *safety, asphalt plants, combustion, fuels*

Мазут и газ являются основными видами топлива в топочном оборудовании сушильных барабанов асфальтосмесительных установок.

Известны случаи употребления дизельного топлива для розжига оборудования при низкой температуре воздуха. На многих асфальтобетонных заводах (АБЗ) установлены горелки, работающие на порошкообразном угле. Угольные горелки имеют небольшое пламя. Специалисты утверждают, что значительная экономия средств достигается при использовании угля в качестве топлива. Кроме того, установка системы подогрева с использованием угля на АБЗ производительностью 200 тыс. т/ч окупит себя за год.

На основании исследований установлено, что при рациональном использовании угля и постоянном контроле за его применением, уголь станет ведущим топливом в будущем. В настоящее время предусматривается использование угля в качестве топлива на 50% всех АБЗ, что даст значительный экономический эффект. Ученые также считают, что при сжигании угля меньше загрязняется атмосфера.

Асфальтобетонные заводы потребляют большое количество энергии, из них 90% приходится на долю сушильных барабанов. При выборе вида топлива рекомендуется учитывать, что высокая эффективность природного газа частично компенсируется относительно низкой стоимостью угля.

Экологически более обоснованным является газ, все чаще используемый на АБЗ, как наиболее чистое топливо, не содержащее в выбросах окислов серы. На некоторых АБЗ в качестве топлива используется смесь газа метана и жидкого топлива. Смешение их производится в специальной установке. Контроль за подачей топлива к горелкам для подогрева исходных материалов и его сжиганием осуществляется автоматически. Однако, в качестве топлива на АБЗ все еще широко применяется мазут.

Мазут производят следующих марок: Ф5, Ф12 (флотские), 40В, 40, 100В, 100. Марки мазута и некоторые его физико-химические свойства приведены в табл. 1 [1]. При этом вязкость топлива имеет большое значение как в процессе его транспортирования так и в процессе смесеобразования.

Таблица 1

Марки и некоторые физико-химические свойства мазута

Марка мазута	Условная вязкость, °ВУ			Температура вспышки, °С, не ниже	Температура застывания, °С, не выше
	при 50°С	при 80°С	при 100 °С		
М20	Не больше 20	2,5-5,0		80	+5
М40	20-40	5,0-8,0		100	+10
М60	40-60	8,0-11,0	-	110	+15
М80	60-80	11,0-13,0	-	120	+20
М100	80-100	13,5-15,5	-	125	+25
М200	100-200	-	6,5-9,5	140	+36

Для обеспечения необходимой текучести мазута, при транспортировании, сливе по трубам и распылении в форсунках, его необходимо подогревать. Необходимая для эффективной работы форсунок и топливных насосов вязкость мазута определяется по табл. 2.

Таблица 2

Вязкость мазута в зависимости от марки

Температура мазута, °С	Марка мазута				
	Ф5	Ф12	Ф40	М100	М200
	Вязкость мазута, °ВУ				
30	ДО 13	41	185	700	
40	7,8	22	80	230	500
50	5	12,5	40	100	200
60	3,6	7,4	22	49	92
70	2,7	5,0	13	27	47
80	2,2	3,6	8	16	26
90	-	2,7	5,4	9	15
100	-	2,3	3,9	6,4	9,5
110	-	-	2,9	4,6	6,4
120	-	-	-	3,5	4,6
130	-	-	-	-	3,5

При нагреве мазута необходимо учесть, что чрезмерный его нагрев может вызвать значительное парообразование и как следствие его вспенивание, что может привести к возгоранию. Это важно с точки зрения обеспечения безопасности труда.

Важное значение среди характеристик мазута имеет температура его застывания (загустения), при которой он теряет свою подвижность. Температура застывания мазута изменяется от 5 до 36°С и зависит от марки. Эта температура повышается с увеличением вязкости. Для мазутов, используемых на АБЗ, характерны высокие вязкость, температура застывания и содержание серы.

Снижение температуры мазутов до температуры застывания приводит к потере их текучести. Что препятствует транспортированию по трубам и распыливанию в форсунках мазута.

Чтобы избежать образования нежелательных отложений в трубах и их полной закупорки следует поддерживать постоянную температуру мазута.

При этом при подогреве мазута необходимо учитывать температуры вспышки и воспламенения. Температура вспышки мазута изменяется от 80 до 112°С, а воспламенения в среднем равна 500-600°С.

Тяжелым мазутам М100 свойственны высокие значения температур вспышки и воспламенения. По правилам техники безопасности максимально допускаемая температура

подогрева мазута в открытых емкостях должна быть не выше 95°C [1]. В емкостях под давлением, в трубопроводах и змеевиках температура подогрева мазута может быть выше. На АБЗ подогрев мазута в емкостях как правило производится до температуры 75-80°C и применяются форсунки низкого давления с распылением воздухом с помощью вентилятора и реже механические форсунки.

На практике механические форсунки имеют производительность 0,2-4,0 т/ч при расчетном давлении топлива 2-3,5 МН/м². Диаметр отверстий сопел таких форсунок 2-8 мм, а диапазон их регулирования по давлению 80-100%. Производительность механических форсунок регулируют с помощью дросселя. Рекомендованные режимы подогрева мазута для форсунок разного типа приведены в табл. 3 [1].

Таблица 3

Рекомендованные режимы подогрева мазута для форсунок разного типа

Тип форсунок	Марка мазута		
	Ф40	M100	M200
	Температура подогрева мазута, °С		
Механического и паромеханического распиливания	100	120	130
Механического распиливания ротационные	85	105	110
Воздушного распиливания низконапорные	90	110	115
Парового или воздушного распиливания высоконапорные	85	105	110

В настоящее время выпускают комбинированные газомазутные горелки, пригодные для одновременного и разновременного сжигания газа и мазута. Скорость выхода воздуха как в газовых так и в газомазутных горелках находится в пределах 20-35 м/с, а скорость выхода газа из щелей горелок в пределах 25-150 м/с.

Представленные в табл. 3 режимы подогрева мазута являются безопасными для системы мазута и снижают продолжительность выгорания капель распыленного форсунками мазута.

В практике АБЗ используются двухступенчатая система подогрева, предварительный подогрев в емкости до температуры 80°C и затем подогрев мазута перед форсунками до температур, указанных в табл. 3.

На некоторых АБЗ в качестве второй ступени подогрева мазута используют электроподогреватель. Это позволяет увеличить продолжительность работы АБЗ, так как при этом обеспечиваются надежные условия запуска топки в холодный период года и работа форсунки по поддержанию стабильного высокоэффективного режима горения в топке.

Принципиальная схема включения прибора для непрерывного измерения и автоматического регулирования вязкости мазута [2] приведена на рис. 1.

В подогревателе 1 осуществляется нагревание мазута до необходимой температуры, которая контролируется датчиком 3 и вторичным прибором 5, регулирование его расхода осуществляется диафрагмой 4 и регулирующим клапаном 2.

Зольность топорных мазутов невелика и составляет не более 0,3% [2]. При этом зола мазута она прилипает к поверхностям нагрева, топки сушильного агрегата, образуя отложения, трудно поддающиеся обычным методам обдувки. Так как при этом присутствуют пары воды и окислов серы создаются условия для коррозии топки, что может привести к разрушению ее футеровки.

Рассмотрим топочную систему смесителя Д-597А. В условиях эксплуатации смесителя остаток мазута, находящийся в магистрали перед форсункой, остывший до температуры окружающей среды, имеет вязкость свыше 1000 °ВУ. При запуске смесителя холодный мазут вытесняется в топку и растекается по футеровке, затекая в щели между кирпичами. Образовавшаяся «пробка» из холодного мазута приводила к нарушению режима работы установки [2].

Как показали исследования, разрушение футеровки является частым при некондиционной работе топочной системы. Все это приводит к необходимости замены топки 2-3 раза в сезон.

При таких режимах работы топки затрудняется управление оператором при использовании струйных форсунок, имеющих небольшой диапазон экономичной работы по коэффициенту избытка воздуха по сравнению с вихревыми форсунками. Это создает дополнительные трудности в обеспечении стабильного режима горения.

В сушильном барабане асфальтосмесительной установки расход топлива изменяется в достаточно широких пределах. Это связано с различной степенью влажности материалов, поступающих в сушильное отделение. С увеличением влажности материала всего на 1% требуется дополнительно сжигать 15-20% топлива.

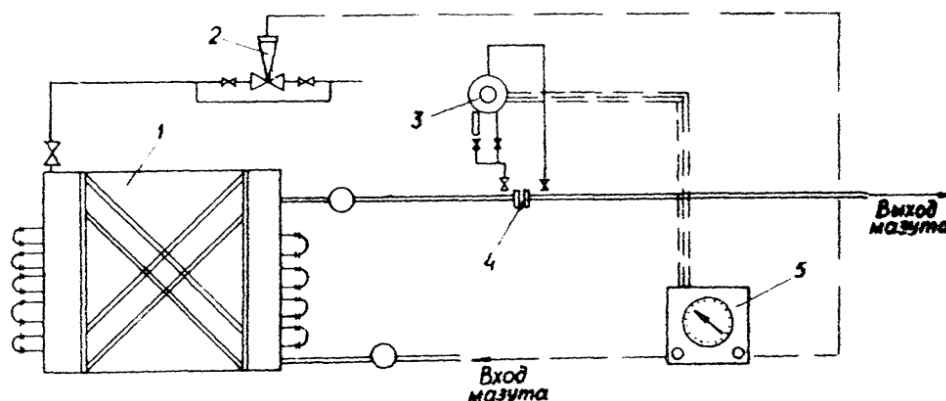


Рис. 1. Принципиальная схема включения прибора для непрерывного измерения и автоматического регулирования вязкости мазута

В современных асфальтосмесителях применяются горелки, с форсунками механического распыления. Регулирование расхода топлива в них осуществляется путем изменения давления мазута непосредственно перед форсункой. Если снижение давления значительно, то ухудшается диспергация топлива и это ведет к его перерасходу.

На АБЗ используют регулируемые мазутные форсунки для сжигания жидкого топлива в сушильном барабане. Форсунка состоит из корпуса с выходным соплом и размещенным в нем завихрителем, который выполнен в виде закрепленных на поворотном штоке двух дисков с наклонными выступами на боковой поверхности (рис. 2). В корпусе в зоне диска 5 имеются соответствующие выступам наклонные канавки, ширина которых больше ширины выступов. При необходимости изменения расхода топлива проходное сечение канавок можно изменить поворотом штока. При таком способе регулирования расхода топлива не снижается давление перед форсункой, что позволяет хорошо диспергировать топливо в диапазоне от 20 до 100% от его максимального расхода.

В результате опытно-промышленного внедрения образцов в производственных условиях на АБЗ выявлены хорошие эксплуатационные качества форсунки: быстрый и надежный розжиг, устойчивое горение факела при значительном изменении расхода топлива. О хорошей диспергации топлива свидетельствует достаточно высокая температура пламени (1450-1500°C). Высокая температура пламени, стабильность работы форсунки при различных режимах снижают выход продуктов неполного сгорания, что приводит к экономии топлива до 15%.

На распыление топлива в значительной степени влияет турбулентность истекающей из форсунки струи. В струйных и щелевых форсунках на турбулентность влияют стенки форсунок и действие сил внутреннего трения. При этом степень турбулентности достигает 5%. В центробежных (в том числе шнековых) форсунках, турбулентность образуется за счет закручивания потока жидкости. При этом степень турбулентности может достигать 30-50%.

Такие гидродинамические характеристики обеспечивают интенсивный процесс перемешивания мазута с воздухом, при этом происходит выравнивание соотношения компонентов топлива K и расходонапряженности g . Также происходит усиление вихревого движения, сопровождающаяся обратными токами продуктов горения из зоны сгорания к форсунке.

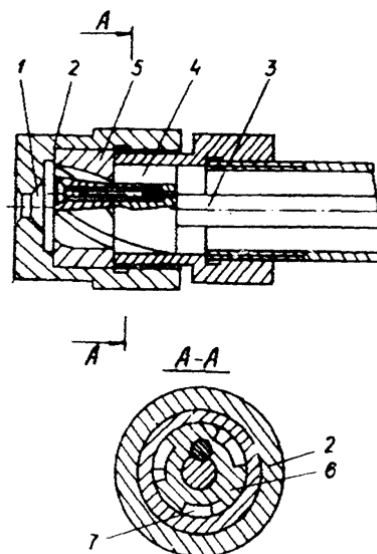


Рис. 2. Конструкция регулируемой мазутной форсунки: 1-выходное сопло; 2-корпус; 3-поворотный шток; 4,5-диски; 6-наклонные выступы; 7-наклонные канавки

Время изменения жидких компонентов топлива в продукты сгорания зависит от времени нагрева и испарения капель топлива, и от времени смешения и сгорания оставшейся части топлива. От размеров капель горючего зависит необходимая для полного сгорания длина топки [2].

От выбора вида топлива для топочных устройств асфальтосмесительных установок зависит количество выбросов вредных веществ в атмосферу [3] при его сгорании. В свою очередь вредные выбросы влияют на ухудшение условий труда работающих на АБЗ [4, 5, 6, 7]. При обеспечении требуемого уровня безопасности труда на АБЗ [8, 9, 10, 11] необходимо дополнительно учитывать возможные опасности производственного процесса при подаче газа, необходимого для подогрева асфальтобетона. Не герметичность трубопроводных систем подающих газ для технологического процесса, а так же возможные выбросы мазута, могут привести к авариям [12]. Диагностику трубопроводных систем необходимо выполнять численно [13] с использованием информационных технологий [14]. Для предупреждения возникновения аварий необходимо решать дополнительные задачи с целью обеспечения безопасности [15].

Совместно с рассматриваемой задачей, для обеспечения безопасности труда на производстве, потребуется комплексное решение целого ряда вспомогательных инженерных задач, возникающих при приготовлении различных асфальто- и цемента- содержащих материалов, и изготовлении конструкций из них например таких, как рассмотрены в работах [16, 17]. Комплексное решение рассмотренных задач с последующей оценкой результатов и принятием необходимых мер по улучшению условий труда и обеспечению безопасности труда на вредных и опасных производствах является направлением дальнейших исследований.

Список литературы

1. Белосельский, В.С. Топочные мазуты / В.С. Белосельский. - М.: Энергия, 1978. 102 с.
2. Манохин, В.Я. Научно-практические и методологические основы экологической безопасности технологических процессов на асфальтобетонных заводах / В.Я. Манохин //

автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 2004.

3. Николенко, С.Д. Влияние параметров автомобильных дорог на экологическую безопасность / С.Д. Николенко // В сборнике: Научно-методическое обеспечение создания военной инфраструктуры вооруженных сил Российской Федерации. Москва, 2009. С. 229-236.

4. Головина, Е.И. Интегральная балльная оценка тяжести труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов в условиях высокой запыленности рабочей зоны / Е.И. Головина, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 95-98.

5. Сазонова, С.А. Охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 111-114.

6. Манохин, М.В. Охрана труда и расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке асфальтобетонного завода / М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 104-107.

7. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда и мероприятия по защите атмосферы на асфальтобетонных заводах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 108-110.

8. Манохин, М.В. Требования к безопасности труда и пожаровзрывобезопасность при эксплуатации асфальтобетонных заводов / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 16 - 21.

9. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда при погрузочно-разгрузочных работах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 22 - 27.

10. Сазонова, С.А. Безопасность труда при эксплуатации машин и оборудования на асфальтобетонных и цементобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 28 - 33.

11. Сазонова, С.А. Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации оценки условий труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин, В.Я. Манохин, Е.И. Головина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 1 (12). С. 15. <http://moit.vivt.ru/>

12. Николенко, С.Д. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2016. №1. С. 151-153.

13. Сазонова, С.А. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 255-264.

14. Жидко, Е.А. Высокие интеллектуальные и информационные технологии интегрированного менеджмента XXI века: монография / Е.А. Жидко. Воронеж: ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), 2014. - 110 с.

15. Колотушкин, В.В. Безопасность жизнедеятельности при эксплуатации зданий и сооружений: учеб. пособ. / В.В. Колотушкин, С.Д. Николенко. - Воронеж: ВГАСУ. 2009. 192 с.

16. Быстровозводимое сооружение на базе пневматической опалубки / С.Д. Николенко, Д.А. Казаков, И.В. Михневич. Патент на изобретение RUS 2415237 27.10.2009.

17. Николенко, С.Д. Особенности технологических схем приготовления фибробетона / С.Д. Николенко, А.Н. Ткаченко, Д.В. Федулов // В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Пенза, 2007. С. 320-323.

Манохин Максим Вячеславович – ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: fellfrostqtw@gmail.com.
Тел. 8 (473) 271-30-00

Николенко Сергей Дмитриевич – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.
Тел. 8 (473) 271-30-00

Сазонова Светлана Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.
Тел. 8 (473) 271-30-00

Манохин Вячеслав Яковлевич – д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: manohinprof@mail.ru.
Тел. 8 (473) 271-30-00

УДК 331.45: 574

С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин

СОЗДАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДАХ

Рассматриваются нормативы предельно допустимых выбросов и приводится расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на асфальтобетонных заводах. Разрабатывается содержание и состав материалов по первому этапу временно согласованных выбросов с целью обеспечения безопасных условий труда на опасном и вредном производстве. Приведены расчеты предельно допустимого выброса вредных веществ в атмосферу и максимальных приземных концентраций с определением санитарно-защитной зоны асфальтобетонных заводов.

Ключевые слова: охрана труда, асфальтобетонные заводы, выбросы в атмосферу

S.A. Sazonova, S.D. Nikolenko, M.V. Manohin

CREATING A SAFE WORK ENVIRONMENT FOR ASPHALT-CONCRETE PLANTS

Discusses the standards of maximum permissible emissions and a calculation of the dispersion parameters of the emissions at asphalt plants. Developed structure and content of the materials for the first phase of temporary approved emissions in order to ensure safe working conditions in hazardous production. The calculations of maximum permissible emissions of harmful substances into the atmosphere and maximum surface concentrations with the determination of the sanitary protection zone of asphalt plants.

Keywords: labor protection, asphalt plants, emissions

В связи с тем, что по ряду ингредиентов возможно превышение массовых выбросов над предельно допустимыми выбросами (ПДВ), то по ним устанавливаются временно согласованные выбросы (ВСВ). Обработка результатов инвентаризации источников выбросов вредных веществ в атмосферу выполняется в соответствии с формой № 1 "воздух" (разовая) [1].

Максимальные ожидаемые выбросы (г/с) устанавливаются с учетом:

проведенных мероприятий с целью уменьшения выбросов в атмосферу от технологических процессов на предприятии или при вводе объектов в эксплуатацию;

проведенных капитальных и текущих ремонтов производственного оборудования и газоочистительных установок, дымовых труб, газовых трактов, коммуникаций и т.п. обеспечивающих наименьшие разовые выбросы, выполненных в соответствии с графиками;

неизбежных нарушений в технологиях производства в совокупности с другими возможными факторами, влияющими неблагоприятно на выбросы;

периодичности работы оборудования, уменьшающего выбросы;

возможного отключения газоочистительных установок по разнообразным причинам (в случае отсутствия достаточного количества ремонтных служб, резервных газоочистительных установок и т.д.), и как следствие работы не всего технологического оборудования;

выбросов от работающих на производстве в самую напряженную смену транспортных средств;

максимальных нагрузок, создаваемых наибольшими выбросами в случае загрязнения систем очистки (отключения их) воздуха, и при неэффективной работе систем сжигания мазута;

возможных неблагоприятных метеоусловий;
выбросов неорганизованных;
изменения периодичности технологических процессов или состава сырья, влияющих на увеличение выбросов.

Подсчитанные (с учетом длительности работы производственного оборудования при работе в реальных условиях) ожидаемые среднегодовые выбросы (т/год) необходимо занести в форму № 2-ТП [1].

Эффективность мероприятий по достижению ВСВ (до и после выполнения этих мероприятий) оценивается в результате сопоставления расчетов рассеивания выбросов в атмосферу по программам на компьютерах с расчетами по методическим указаниям [2].

Предложения по ПДВ (ВСВ) формулируются с учетом планирования системы контроля за соблюдением ПДВ (ВСВ). В системе контроля должно быть предусмотрено определение количества вредных веществ от выброса в атмосферу от источников. При этом необходимо сопоставить количество таких вредных веществ с ПДВ (ВСВ). Здесь же учитываются выполненные работы и ответственность за контроль соблюдения ПДВ и ВСВ. Такой контроль включает своевременную отчетность, возлагаемую на службы охраны природы предприятий, организаций, производств и автодорог. При этом ведомственные организации (ВО) должны разрабатывать планы специальных мероприятий по максимальному возможному уменьшению вредных выбросов, а так же по ликвидации аварийных выбросов из источников производственных процессов.

На основе данных, полученных на асфальтобетонных заводах (АБЗ), разрабатывается Эталон ведомственного тома "Охрана атмосферы и предложения по ПДВ и ВСВ". Настоящий эталон составляется в целях оказания методической помощи головным ведомственным организациям и разработчикам нормативов ПДВ и ВСВ.

Эталон содержит:

исходные данные для определения нормативов по выбросам вредных веществ в атмосферу;

характеристику производственных источников, загрязняющих атмосферу;

оценку загрязнения атмосферы от производственных источников;

перечень мероприятий для снижения объемов выбросов пыли в случае запланированного увеличения выпуска продукции;

планы в виде графиков по осуществлению мероприятий с целью снижения выбросов в атмосферу вредных веществ;

рекомендации по составлению ведомственного тома;

величины ПДВ (ВСВ).

Расчет ПДВ в случае организованных выбросов в атмосферу вредных веществ необходимо производить по методическим указаниям [2].

В соответствии с [2] ПДВ источника нагретого выброса в атмосферу вредных веществ при одиночном источнике (труба), для которого обеспечивается соблюдение установленных ПДК вредных веществ, определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК}-\text{Сф})\text{H}^2\sqrt{\text{V}_1\Delta\text{T}}}{\text{AFmn}\eta}, \quad (1)$$

где η - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности на рассеивание примесей; m , n - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из источника выброса; F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, $\text{C}^{2/3}$ град.^{1/3} мг/г; ΔT - разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой

окружающего атмосферного воздуха T_B , °C; V_1 - объем газовой смеси, м³/с; H - высота источника над уровнем земли, м; C_ϕ - фоновая концентрация, мг/м³; C - фактическая концентрация, мг/м³; ПДК - максимальная разовая предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества, мг/м³.

Из анализа формулы (1) можно сделать вывод, что количество ПДВ зависит от величин, зависящих от характеристик смесителя и от параметров, которые необходимо определить в соответствии с методикой инвентаризации [3]. При этом производить учет неорганизованных выбросов при определении ПДВ можно с помощью коэффициента K ($K = 0,85; 0,9; 1$). В таком случае при $C_\phi = 0$ значение ПДВ определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{K \cdot \text{ПДК} \cdot H^2 \cdot \sqrt{V_1 \cdot \Delta T}}{A F \cdot m n \eta} \quad (2)$$

Приведенное упрощение применяется для приближенных расчетов. В случае точной оценки ПДВ исследуемых источников потребуются дифференцировать неорганизованные и организованные выбросы, учитывать фоновые концентрации, неблагоприятные условия и выявить места с максимальными концентрациями на производстве.

Например, для асфальтосмесительных установок можно определить величину максимальной приземной концентрации вредных веществ C_M на расстоянии X_M при наличии одиночного источника загрязнения с круглым устьем и при наличии неблагоприятных метеофакторов, можно по формуле

$$C_M = \frac{A M F m n \eta}{H^2 \cdot \sqrt{V_1 \Delta T}} \quad (3)$$

Расчет обычно ведется на компьютере по стандартным программам, в соответствии с рекомендациями методических указаний [2]. Такие программы предназначены для расчета уровня загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов выбросами вредных веществ обследуемых предприятий отрасли "Дорожное хозяйство" типа асфальтобетонных заводов котельных и др. и могут быть использованы на подобных предприятиях других отраслей народного хозяйства.

Указанные программы должны определить максимальные приземные концентрации вредных примесей; расстояния от источников выбросов до зоны, в которой возможна максимальная концентрация X_M ; опасные скорости ветра U'_H ; величины ПДВ вредных примесей для одиночного источника и для группы источников. При наличии нескольких источников выброса должен быть предусмотрен расчет нескольких вариантов предложений по ПДВ с проверочным расчетом величин максимальных приземных концентраций вредных примесей для каждого варианта.

Особенностью указанных программ является то, что они должны быть применимы с достаточной точностью (до 10%) для расчета источников выброса, расположенных на незначительном удалении друг от друга. Такими являются промышленные площадки асфальтобетонных заводов, на которых компактно расположены однотипные источники выброса на расстоянии до 100 м.

В расчетах не обязательно должен выполняться перебор направлений ветра, так как при близком расположении источников выброса незначительная разница в координатах источников несущественно влияет на величину максимальной приземной концентрации, поэтому все источники выброса можно считать совмещенными в начале координат, и поле концентраций не зависит от направления ветра, а определяется только параметрами источников выброса и газовой смеси.

Необходимо выполнять несколько вариантов расчета ПДВ с учетом различных возможностей снижения выбросов в случае превышения ПДК, а именно: снижение в равной

степени выбросов всех источников; снижение выбросов в первую очередь источников, максимально загрязняющих атмосферу.

Для каждого из просчитанных вариантов выполняется проверочный расчет максимальной приземной концентрации выбросов.

Рассчитанные варианты установления ПДВ предлагаются предприятию для окончательного выбора с учетом конкретных технических возможностей по осуществлению мероприятий, направленных на снижение выбросов вредных веществ в атмосферу и обеспечения требуемого уровня безопасности труда на рабочих местах АБЗ.

Если принимать ВСВ на длительный период до установления ПДВ, то необходимо для снижения ущерба населению выделить санитарно-защитную зону (СЗЗ).

Расчет расстояния границы СЗЗ от источника выброса до селитебной зоны определяется по формуле [2]

$$l=L_0 \frac{P}{P_0}, \quad (4)$$

где P_0 - среднегодовая повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров (например, при восьмирумбовой розе); L_0 - расчетное расстояние от источника выброса до границы санитарно-защитной зоны при концентрации вредных веществ больше ПДК (без учета поправки на розу ветров),

$$P_0 = \frac{100}{8} = 12,5\%$$

Если на внешней границе СЗЗ требуется достижение концентрации $C' > \text{ПДК}$, то l следует определять по формуле (4). В этом случае значение L_0 принимают равным расчетному расстоянию от источника выброса, до которого значение концентрации принимают больше C' .

Рассчитанные значения внешней границы СЗЗ необходимо сравнить с планом территории предприятия. Если в период наиболее опасных метеоусловий превышение ПДК пыли наблюдается в рассматриваемом жилом массиве, то необходимо для достижения предприятием нормативов ВДВ по пыли увеличивать площади санитарно-защитных зон. В случае же проживания населения в таких районах необходимо принимать меры для переселения его в безопасное место.

Комплексный подход к проблеме превышения выбросов над предельно допустимыми выбросами является определяющим при решении задачи защиты атмосферы на АБЗ и при обеспечении требуемого уровня безопасности труда [4, 5, 6, 7].

При создании безопасных условий труда на АБЗ [8, 9, 10, 11] необходимо дополнительно учитывать возможные опасности производственного процесса при подаче газа, необходимого для подогрева асфальтобетона. Не герметичность трубопроводных систем подающих газ для технологического процесса, а так же возможные выбросы мазута, могут привести к авариям [12, 13] с выбросами опасных веществ и взрывами, влекущие за собой опасность для жизни и здоровья работающих на АБЗ.

Совместно с рассматриваемой задачей, для обеспечения безопасности труда на производстве, потребуется комплексное решение целого ряда вспомогательных инженерных задач, например экологических при оценке выбросов вредных веществ в атмосферу [14, 15] при приготовлении различных цемента-содержащих материалов [16].

Комплексное решение рассмотренных задач с последующей оценкой результатов и принятием необходимых мер по улучшению условий труда и обеспечению безопасности труда на вредных и опасных производствах является направлением дальнейших исследований.

Список литературы

1. Временные рекомендации по расчету вредных веществ в атмосферу при проведении инвентаризации и составлении отчетов по форме № 2-ТП (воздух). Минск: Белорус. УГКС, 1982.
2. Методические указания по установлению норм предельно допустимых выбросов для производственных предприятий "Дорожное хозяйство": Утв. Минавтодором РСФСР. М., 1983.
3. Методика инвентаризации подведомственных источников выбросов вредных веществ для производственных предприятий отрасли "Дорожное хозяйство": Утв. Минавтодором РСФСР. М., 1983.
4. Сазонова, С.А. Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации оценки условий труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин, В.Я. Манохин, Е.И. Головина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 1 (12). С. 15. <http://moit.vivt.ru/>
5. Головина, Е.И. Интегральная балльная оценка тяжести труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов в условиях высокой запыленности рабочей зоны / Е.И. Головина, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 95-98.
6. Сазонова, С.А. Охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 111-114.
7. Манохин, М.В. Охрана труда и расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке асфальтобетонного завода / М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 104-107.
8. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда и мероприятия по защите атмосферы на асфальтобетонных заводах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 108-110.
9. Манохин, М.В. Требования к безопасности труда и пожаровзрывобезопасность при эксплуатации асфальтобетонных заводов / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 16 - 21.
10. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда при погрузочно-разгрузочных работах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 22 - 27.
11. Сазонова, С.А. Безопасность труда при эксплуатации машин и оборудования на асфальтобетонных и цементобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 28 - 33.
12. Николенко, С.Д. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного

архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2016. №1. С. 151-153.

13. Сазонова, С.А. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 255-264.

14. Николенко, С.Д. К вопросу экологической безопасности автомобильных дорог / С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 141-145.

15. Николенко, С.Д. Влияние параметров автомобильных дорог на экологическую безопасность / С.Д. Николенко // В сборнике: Научно-методическое обеспечение создания военной инфраструктуры вооруженных сил Российской Федерации. Москва, 2009. С. 229-236.

16. Николенко, С.Д. Особенности технологических схем приготовления фибробетона / С.Д. Николенко, А.Н. Ткаченко, Д.В. Федулов // В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Пенза, 2007. С. 320-323.

Сазонова Светлана Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.
Тел. 8 (473) 271-30-00

Николенко Сергей Дмитриевич – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru.
Тел. 8 (473) 271-30-00

Манохин Максим Вячеславович – ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного технического университета. E-mail: fellfrostqtw@gmail.com.
Тел. 8 (473) 271-30-00

УДК 331.45: 574

М.В. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ "ГОРЯЧЕГО" ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Рассмотрены экологические показатели и выполнен расчет экономической эффективности природоохранных мероприятий на асфальтобетонных заводах, влияющей на уровень безопасности труда на опасном и вредном производстве.

Ключевые слова: *безопасность труда, асфальтобетонные заводы, экологические показатели, экономическая эффективность природоохранных мероприятий*

M.V. Manohin, S.A. Sazonova, S.D. Nikolenko

ECONOMIC EFFECTIVENESS OF MEASURES FOR LABOR SAFETY IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF "HOT" PREPARATION OF ASPHALT CONCRETE

The environmental indicators and the calculation of economic efficiency of conservation on asphalt plants, affect the level of occupational safety in hazardous production.

Keywords: *safety, asphalt plants, environmental indicators, economic efficiency of environmental activities*

Обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах (АБЗ) всегда являлось достаточно важной задачей. В настоящее время вопрос учета экологических факторов становится все более актуальным при решении комплексной задачи обеспечения безопасности производства.

Экономический ущерб рассматривается как один из основных показателей экономико-экологических оценок. Этот показатель характеризует ущерб, наносимый окружающей среде предприятиями дорожной отрасли. Для АБЗ достаточно большими являются издержки, связанные с затратами на восстановление износа оборудования, например, износ пылеулавливающего оборудования от абразивного воздействия пыли и окислов серы.

Величина ущерба используется не только в отдельных экономических расчетах, но и как мера комплексной оценки загрязнения атмосферы в различных отраслях хозяйства. Ее применение позволяет обобщать различные ущербы локального характера.

В целом под экономическим ущербом, понимается представленные в стоимостной форме всевозможные убытки, причиняемые окружающей среде, или дополнительные затраты на компенсацию этих убытков. Одной из задач при проверке производств на АБЗ является оценка величин экологических факторов с целью дальнейшей оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий.

В настоящее время для определения ущерба от загрязнения атмосферы по применяемым методикам обычно используется удельный ущерб, принимаемый при определенном уровне загрязнения атмосферы в качестве условной единицы факторов восприятия, например: количество людей (тысяче человек населения); объекты народного хозяйства, с необходимыми условиями для проживания определенного количества людей (тысячи человек населения); площади сельскохозяйственных и лесных угодий (один гектар). Все методы оценки ущерба можно разделить по степени усреднения, точности и форме учета названных факторов. В нашем случае интересно условное разделение на конкретные и усредненные оценки ущерба, а также на укрупненные и относительно точные.

Следовательно, при расчете, не требующем особой точности, будет достаточно просто пользоваться методикой «валовых выбросов». В качестве исходных нормативов для расчета ущерба по современным методикам можно использовать удельные ущербы, определяемые на основании эмпирических зависимостей. Таким образом подход к определению ущерба можно выразить следующей формулой:

$$y = \sum_{i=1}^n K_i y(x_i), \quad (1)$$

где y - ущерб, наносимый народному хозяйству загрязнением атмосферы; i - та отрасль народного хозяйства, по которой определяется ущерб (коммунальное хозяйство, промышленность и др.); K_i - число единиц основного расчетного элемента факторов восприятия исследуемой отрасли народного хозяйства, попадающего в зону загрязнения (число людей - для коммунального хозяйства, например 1 тыс. человек, площадь угодий - для сельского и лесного хозяйства, например 1 га, стоимость основных фондов - для промышленности, например 1 млн.р.); $y(x_i)$ - удельный ущерб, причиняемый единице основного расчетного элемента по элементам при значении загрязнения атмосферы (x_i).

Для расчетов в качестве критерия значений загрязнения (x_i) можно взять концентрации вредных веществ в приземном слое или валовые выбросы в атмосферу. Такой же подход может быть использован и при загрязнении водных источников.

В настоящее время накоплен достаточно большой опыт по оценке удельных ущербов. В частности применяются показатели в расчете на 1 тонну выброса вредных веществ в атмосферу, которые в дальнейшем усредняются. Средняя величина ущерба, приходящегося на произведенную единицу продукции, является средневзвешенной величиной экономического ущерба, причиняемого загрязнением окружающей среды на всех этапах производства.

Когда используются усредненные оценки экономического ущерба следует учитывать вклад различных технологий в производстве конкретной продукции. При загрязнении воздушного бассейна, в качестве основных источников загрязнений могут быть энергетические агрегаты (топки асфальтосмесителей на АБЗ, котельные и т.п.).

В общем случае экологический ущерб можно рассматривать как однофакторную функцию среднегодовой концентрации загрязнений, которая измеряется в рублях/чел., рублях/га. Для оценки экологического ущерба ведутся расчеты концентраций загрязнений нижних слоев атмосферы. Эти расчеты выполняются или на компьютере или вручную.

В целом величина экономического ущерба от загрязнения нижних атмосферы на единицу валового ингредиента может составлять: для пыли 120-180 тысяч рублей/т; для сернистого ангидрида 135-200 тысяч рублей./т; для окислов азота 200-300 тысяч рублей./т; для углеводородов 180-270 тысяч рублей./т; для окиси углерода 70-100 тысяч рублей./т.

Величина народнохозяйственного эффекта от охраны атмосферы от различных веществ, определенная на основе применения приближенных методов расчета может составлять: для пыли 60-150 тысяч рублей/т; для окиси углерода 27-70 тысяч рублей/т; для окислов азота до 250 тысяч рублей/т.

Суммарный экономический эффект от применения природоохранных мероприятий (\mathcal{E}) на АБЗ состоит из внутриотраслевого технико-экономического эффекта от реализации пыли, возвращенной в производство в процессе сухой очистки газов ($\mathcal{E}_{p.n.}$), от экономии топлива (\mathcal{E}_m), от экономии от контроля чистоты атмосферы (\mathcal{E}_k) и от предотвращенного экологического эффекта (ΔU). Этот эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{p.n.} + \mathcal{E}_m + \mathcal{E}_k + \Delta U. \quad (2)$$

В этой формуле внутриотраслевой технико-экономический эффект $\mathcal{E}_{p.n.}$, р./год от реализации пыли возвращенной в производство в процессе сухой очистки газов определяется следующим образом:

$$Э_{p.n.} = П \cdot \Delta M \cdot C, \quad (3)$$

где $П$ - число асфальтосмесительных установок, шт.; ΔM - количество уловленной пыли от одной асфальтосмесительной установки за год, т/год; C - цена 1 т минерального порошка, р.

Экономия топлива за счет организации высокоэффективного процесса горения мазута и снижение теплотерь и неорганизованных выбросов на АБЗ экономит до 6%. Например, для асфальтосмесительной установки Д-508-2А эта экономия может быть 18,6 кг/ч, или 27,9 тонн в год, или 797,9 тысяч рублей.

Таким образом экологический ущерб зависит от величины снижения экономического ущерба, который наносит АБЗ окружающей среде (коммунальному, сельскому и лесному хозяйству, промышленности). Предотвращенный экологический ущерб можно определить по выражению:

$$\Delta Y = \Delta M \cdot y, \quad (4)$$

где ΔY - годовой экологический эффект, р./год; y - удельный экономический ущерб, от выбросов в атмосферу, р./т.

Если сравнивать результаты расчетов, то величина экологического ущерба будет значительно больше внутриотраслевого экономического эффекта. Исходя из этого, основным при борьбе с вредными выбросами на предприятиях дорожной отрасли будет фактор снижения экологического ущерба. Вопросам обеспечения экологической безопасности на автомобильных дорогах посвящена работа [1]. Следует отметить, что экологический ущерб во многом зависит от численности населения, промышленного и сельскохозяйственного развития региона.

Наиболее эффективным средством обеспечения и контроля экологической безопасности для работающих и окружающей среды является установление нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ). При этом соблюдать эти нормативы необходимо все время пока работает АБЗ. Эти нормативы имеют достаточно высокую значения (95%, а в некоторых случаях 99% очистки). Применяемое на АБЗ оборудование имеет эксплуатационную эффективность в пределах 58%.

Если использовать смесители типа Г-1, МГ-1 без очистных сооружений, то экологический ущерб от пыли составляет 18 миллионов рублей в год при минимальной производительности. Например, ущерб окружающей среде от пыли, от асфальтосмесителя Д-645-2, может составить 11,840 миллионов рублей.

Улучшение очистных комплексов, совершенствование топочно и пылегазоочистительного оборудования может сократить экологический ущерб, а иногда уменьшить удельные затраты на охрану окружающей среды. Это возможно если внедрить централизованную очистку, мощные очистные комплексы).

Уточненная оценка предотвращенного экологического ущерба определяется по формуле:

$$\Delta Y = \gamma \delta \cdot \Delta M f, \quad (5)$$

где γ - постоянная величина размерности, р./условную тонну (для разработок, примененных до 1986 г. $\gamma = 2,0$ р./условных тонн, внедренных после 1986 г. - $\gamma = 2,4$ р./условных тонн); δ - значение относительной опасности загрязнения атмосферы в районе загрязненной территории; M - приведенный выброс загрязнений из определенного источника в год, условных тонн/год; ΔM - уменьшение выброса загрязнений после внедрения мероприятия в год, условных тонн/год; f - безразмерная постоянная величина, характеризующая рассеивание загрязнений в атмосфере.

Общий экономический эффект включает величины эффектов от реализации пыли, используемой в качестве минерального порошка $\Delta C_{m.n.}$ и от экономии от мероприятий по сжиганию топлива ΔC_m . Он определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \Delta C_{m,n} + \Delta C_m \quad (6)$$

Если достигается ПДВ формула (6) приобретает вид:

$$\mathcal{E} = g_{m,n} (M\text{-ПДВ}) + g_m \cdot \Delta m, \quad (7)$$

где $g_{m,n}$ - цена 1 т минерального порошка, р.; g_m - цена 1 т топлива, р.; Δm - количество сэкономленного топлива, т.

Для определения ущерба от деятельности АБЗ необходим комплексный подход к решению целого ряда сопутствующих инженерных задач. Проблема очистки газов на АБЗ при пыле-газоулавливании и очистке организованных и неорганизованных выбросов является определяющей при решении проблемы защиты атмосферы на АБЗ и при обеспечении требуемого уровня безопасности труда [2, 3, 4, 5].

При обеспечении безопасных условий труда на АБЗ [6, 7, 8, 9] необходимо дополнительно учитывать возможные опасности производственного процесса при подаче газа, необходимого для подогрева асфальтобетона. Не герметичность трубопроводных систем подающих газ для технологического процесса, а так же возможные выбросы мазута, могут привести к авариям [10, 11] с выбросами опасных веществ и взрывами, влекущие за собой опасность для жизни и здоровья работающих на АБЗ.

Совместно с рассматриваемой задачей, для обеспечения безопасности труда на производстве, потребуется комплексное решение целого ряда вспомогательных инженерных задач при приготовлении различных цемента-содержащих материалов, например таких, как рассмотрены в работах [12, 13, 14]. Комплексное решение рассмотренных задач с последующей оценкой результатов и принятием необходимых мер по улучшению условий труда и обеспечению безопасности [15] на вредных и опасных производствах является направлением дальнейших исследований.

Список литературы

1. Николенко, С.Д. Влияние параметров автомобильных дорог на экологическую безопасность / С.Д. Николенко // В сборнике: Научно-методическое обеспечение создания военной инфраструктуры вооруженных сил Российской Федерации. Москва, 2009. С. 229-236.
2. Головина, Е.И. Интегральная балльная оценка тяжести труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов в условиях высокой запыленности рабочей зоны / Е.И. Головина, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 95-98.
3. Сазонова, С.А. Охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 111-114.
4. Манохин, М.В. Охрана труда и расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке асфальтобетонного завода / М.В. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 104-107.
5. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда и мероприятия по защите атмосферы на асфальтобетонных заводах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-

строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. №1(12). С. 108-110.

6. Манохин, М.В. Требования к безопасности труда и пожаровзрывобезопасность при эксплуатации асфальтобетонных заводов / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 16 - 21.

7. Николенко, С.Д. Обеспечение безопасности труда при погрузочно-разгрузочных работах / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 22 - 27.

8. Сазонова, С.А. Безопасность труда при эксплуатации машин и оборудования на асфальтобетонных и цементобетонных заводах / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. №1. С. 28 - 33.

9. Сазонова, С.А. Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации оценки условий труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин, В.Я. Манохин, Е.И. Головина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 1 (12). С. 15. <http://moit.vivt.ru/>

10. Николенко, С.Д. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2016. №1. С. 151-153.

11. Сазонова, С.А. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 255-264.

12. Николенко, С.Д. Особенности технологических схем приготовления фибробетона / С.Д. Николенко, А.Н. Ткаченко, Д.В. Федулов // В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Пенза, 2007. С. 320-323.

13. Быстровозводимое сооружение на базе пневматической опалубки / С.Д. Николенко, Д.А. Казаков, И.В. Михневич. Патент на изобретение RUS 2415237 27.10.2009.

14. Михневич, И.В. К вопросу о защитных свойствах быстровозводимых сооружений на основе пневмоопалубки / И.В. Михневич, С.Д. Николенко, В.А. Попов // В сборнике: Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2012. С. 234-237.

15. Колотушкин, В.В. Безопасность жизнедеятельности при эксплуатации зданий и сооружений: учеб. пособ. / В.В. Колотушкин, С.Д. Николенко. - Воронеж: ВГАСУ. 2009. 192 с.

Манохин Максим Вячеславович – ассистент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: fellfrostqtw@gmail.com. Тел. 8 (473) 271-30-00

Сазонова Светлана Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru. Тел. 8 (473) 271-30-00

Николенко Сергей Дмитриевич – к.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: nikolenkopb1@yandex.ru. Тел. 8 (473) 271-30-00

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

УДК 539.384.6:539.377

А.А. Трещёв, М.В. Спасская

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСВЯЗАННОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

В статье произведена постановка термомеханической задачи о тонкой пологой сферической оболочке из разносопротивляющегося анизотропного материала. На оболочку воздействует равномерно распределенная нагрузка и разность температур. Выполнен вывод системы разрешающих уравнений поставленной задачи, дополненной граничными условиями.

Ключевые слова: изгиб, разносопротивляемость, анизотропия, сферическая оболочка, разрешающие уравнения, термоупругость.

A.A. Treschev, M.V. Spasskaya

MATHEMATICAL MODEL FOR UNCOUPLED THERMOMECHANICAL PROBLEM OF SHALLOW SPHERICAL SHELL MADE OF ANISOTROPIC DIFFERENT RESISTANT MATERIALS

The article is devoted thermoelastic problem of a thin shallow spherical shell. The body is made of a material with different resistance property and anisotropic. The shell perceives uniformly distributed load and receives thermal effect, as the temperature difference on the inner and outer surface of the shell. The paper presents the system of the equations solutions, supplemented by the boundary conditions.

Keywords: bending, different resistance, anisotropy, spherical shell, equations solutions, thermoelasticity.

Введение. Для многих конструкционных материалов характерно наличие усложненных свойств, таких как разносопротивляемость и структурная анизотропия. Разносопротивляющийся – это материал, у которого деформационные и прочностные характеристики зависят от вида напряженного состояния. Анизотропный – это материал, который имеет отличающиеся друг от друга физико-механические свойства по разным направлениям. Использование классических теорий механики деформируемого твердого тела не позволяет обеспечить должную точность расчетов НДС конструкций из материалов с усложненными свойствами. Именно поэтому необходимы новые надежные теории расчета, согласованные с экспериментальными данными. Учет эффекта разносопротивляемости материала вносит значительные поправки в напряженно-деформированное состояние конструкций. Кроме того, в настоящее время в различных отраслях все больше конструкций работает в условиях неравномерных температурных полей. Учет влияния температурного воздействия также необходим для получения точных результатов расчетов НДС конструкций.

Постановка задачи. Объектом исследования является полая сферическая оболочка (рисунок) с радиусом в плане a (м), со стрелой подъема f (м) и толщиной h (м). Срединная поверхность оболочки является частью сферы, характеризуемой радиусом R (м). Оболочка имеет жесткую заделку по контуру. В начальный момент времени температура оболочки T_0 . Далее на оболочку действует разность температур: температура внутренней T_1 и наружной T_2 поверхностей, а также прикладывается поперечная равномерно распределенная нагрузка q (МПа) на верхнюю поверхность оболочки.

Примем, что изменение температуры в оболочке происходит только по ее толщине, чтобы разность температур на внутренней и наружной поверхностях ΔT являлась функцией от координаты z .

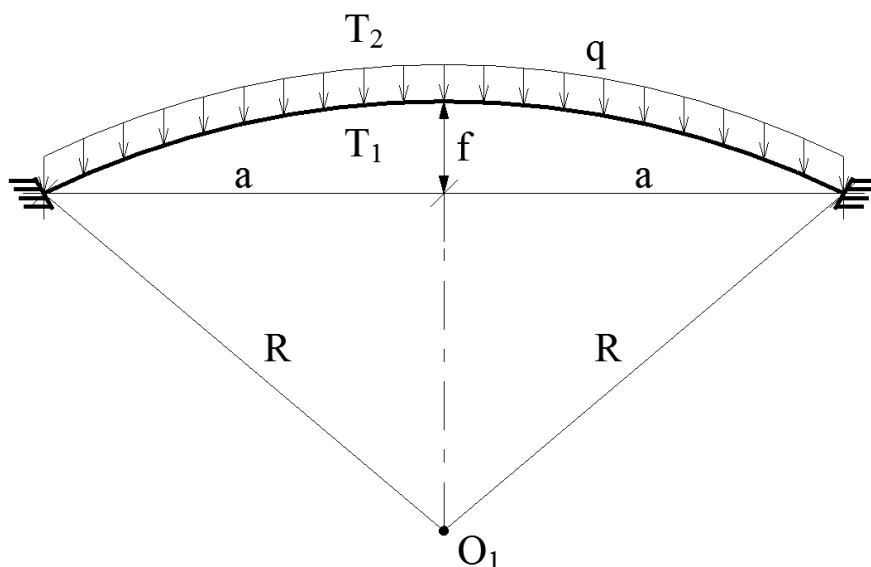


Рисунок. Исходная схема задачи

Для сферической оболочки справедливо постоянство главных радиусов кривизны срединной поверхности оболочки в пределах ее плана: $R_1 = R_2 = R$. Тогда главные кривизны оболочки принимают значение $k_1 = k_2 = k = 1/R$. Далее будут рассматриваться пологие оболочки, а в пологих оболочках можно пренебречь разницей между длиной дуги срединной поверхности и ее проекцией на плоскость.

Будем рассматривать оболочку в рамках теории пологих оболочек, в которой используются следующие зависимости:

а) компоненты деформации в срединной поверхности:

$$\varepsilon_r = u_{,r} - kw + 0.5\theta_r^2; \quad \varepsilon_\varphi = \frac{u}{r} - kw, \quad (1)$$

где $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi$ – удлинения; u, w – радиальные перемещения и прогибы; k – главная кривизна; $\theta_r = -w_{,r}$ – поворот нормали к срединной поверхности, r – радиальная координата;

б) компоненты изгибной деформации (кривизны):

$$\chi_r = -w_{,rr}; \quad \chi_\varphi = -\frac{w_{,r}}{r}; \quad (2)$$

в) компоненты тензора деформаций через параметры деформации $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi$ и кривизны χ_r, χ_φ срединной поверхности:

$$e_r = \varepsilon_r + z\chi_r; \quad e_\varphi = \varepsilon_\varphi + z\chi_\varphi, \quad (3)$$

где z – вертикальная координата, отсчитываемая от срединной поверхности оболочки.

Используя формулы (1) – (3), запишем компоненты тензора деформаций через перемещения и прогибы:

$$e_r = u_{,r} - kw + 0.5w_{,r}^2 - zw_{,rr}; e_\varphi = \frac{u}{r} - kw - z \frac{w_{,r}}{r}. \quad (4)$$

Примем оболочку достаточно тонкой, при этом будут использоваться традиционные для данного класса задач технические гипотезы Кирхгофа-Лява:

- 1) нормаль к срединной поверхности после деформации остается перпендикулярной к этой поверхности в деформированном состоянии;
- 2) при определении параметров напряженного состояния влиянием нормальных напряжений σ_z можно пренебречь.

Вывод разрешающих уравнений. Рассматривается несвязанная задача термоупругости, поэтому она распадается на две независимые задачи: механики сплошной среды и термодинамики. Чтобы получить уравнения, учитывающие температурное воздействие, к уравнениям необходимо добавить соответствующие компоненты температурных деформаций.

В качестве физических зависимостей будем использовать соотношения, предложенные в работе А.А.Трещева [1]. Для конкретизации структурной анизотропии материала оболочки принято ортотропное тело.

С учётом принятых гипотез и при совпадении осей сферической системы координат с главными осями анизотропии физические зависимости запишем в виде:

$$\begin{aligned} e_r &= (A_{1111} + B_{1111}\alpha_r)\sigma_r + [A_{1122} + B_{1122}(\alpha_r + \alpha_\varphi)]\sigma_\varphi + \alpha_{1T}\Delta T; \\ e_\varphi &= [A_{1122} + B_{1122}(\alpha_r + \alpha_\varphi)]\sigma_r + (A_{2222} + B_{2222}\alpha_\varphi)\sigma_\varphi + \alpha_{2T}\Delta T, \end{aligned} \quad (5)$$

где $A_{kkkk}, B_{kkkk}, A_{ijij}, B_{ijij}, A_{ijij}, B_{ijij}$ – константы, зависящие от модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации материала при растяжении и сжатии; $\alpha_r = \sigma_r/S, \alpha_\varphi = \sigma_\varphi/S$ – нормированные напряжения; $S = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\varphi^2}$ – модуль вектора полных напряжений; α_{1T}, α_{2T} – коэффициенты линейного теплового расширения.

Вычисление констант определяющих соотношений для материалов, обладающих анизотропией, рекомендовано выполнять по результатам простейших экспериментов на одноосное растяжение и одноосное сжатие вдоль главных осей анизотропии, из экспериментов на сдвиг в главных плоскостях или из экспериментов по одноосному растяжению и одноосному сжатию в направлениях, ориентированных под углом 45° к главным осям анизотропии [1]. При этом константы для ортотропного тела вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} A_{kkkk} &= (1/E_k^+ + 1/E_k^-)/2; & B_{kkkk} &= (1/E_k^+ - 1/E_k^-)/2; \\ A_{ijij} &= -(v_{ij}^+/E_j^+ + v_{ij}^-/E_j^-)/2; & B_{ijij} &= -(v_{ij}^+/E_j^+ - v_{ij}^-/E_j^-)/2; \\ A_{ijij} &= (1/E_{ij}^+ + 1/E_{ij}^-) - 0.25 \left[\begin{aligned} &(1/E_i^+ + 1/E_j^+ + 1/E_i^- + 1/E_j^-) - \\ &- 2(v_{ji}^+/E_i^+ + v_{ji}^-/E_i^-) \end{aligned} \right]; \\ B_{ijij} &= \sqrt{2}(1/E_{ij}^+ - 1/E_{ij}^-) - 0.125 \cdot \sqrt{2} \cdot \left[\begin{aligned} &(1/E_i^+ + 1/E_j^+ - 1/E_i^- - 1/E_j^-) - \\ &- 4(v_{ji}^+/E_i^+ - v_{ji}^-/E_i^-) \end{aligned} \right], \end{aligned}$$

где $v_{ij}^+/E_j^+ = v_{ji}^+/E_i^+; v_{ij}^-/E_j^- = v_{ji}^-/E_i^-; E_k^\pm, E_i^\pm, E_j^\pm$ – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях соответствующих главным осям анизотропии; v_{ij}^\pm, v_{ji}^\pm – коэффициенты поперечной деформаций при растяжении и сжатии в направлениях соответствующих главным осям анизотропии; E_{ij}^\pm – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях под углом 45° к соответствующим главным осям анизотропии.

Преобразовав физические зависимости (5) по типу уравнений, используемых в форме метода упругих решений А.А. Ильющина [2] и выразив напряжения через деформации, получим:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= C_{11}e_r + C_{12}e_\varphi - R_{11} - \varphi_{1T}; \\ \sigma_\varphi &= C_{12}e_r + C_{22}e_\varphi - R_{22} - \varphi_{2T},\end{aligned}\tag{6}$$

где $C_{11} = A_{2222} / \Delta$; $C_{12} = -A_{1122} / \Delta$; $C_{22} = A_{1111} / \Delta$; $\Delta = A_{1111}A_{2222} - A_{1122}^2$;
 $R_{11} = (A_{2222}T_{11} - A_{1122}T_{22}) / \Delta$; $R_{22} = (A_{1111}T_{22} - A_{1122}T_{11}) / \Delta$; $T_{11} = B_{1111}\alpha_r\sigma_r + B_{1122}(\alpha_r + \alpha_\varphi)\sigma_\varphi$;
 $T_{22} = B_{2222}\alpha_\varphi\sigma_\varphi + B_{1122}(\alpha_r + \alpha_\varphi)\sigma_r$; $\varphi_{1T} = C_{11}\alpha_{1T}\Delta T + C_{12}\alpha_{2T}\Delta T$; $\varphi_{2T} = C_{12}\alpha_{1T}\Delta T + C_{22}\alpha_{2T}\Delta T$.

Принимая за основу те или иные определяющие соотношения, мы не вносим изменений в соотношения статико-геометрической природы. Поэтому остаются справедливыми положения и зависимости геометрически нелинейной теории анизотропных оболочек. Внутренние усилия и моменты приводятся к срединной поверхности $z = 0$, и при условии $zk \ll 1$ уравнения равновесия для пологих сферических оболочек принимают вид:

$$\begin{aligned}M_{r,r,r} - M_{\varphi,r} / r + 2M_{r,r} / r + k(N_r + N_\varphi) + N_r w_{,rr} &= -q; \\ N_{r,r} + (N_r - N_\varphi) / r - k[M_{r,r} + (M_r - M_\varphi) / r] &= 0.\end{aligned}\tag{7}$$

Поскольку переход от напряжений к усилиям и моментам не зависит от физической природы материала, эти характеристики определим обычным способом, с учетом соотношений (4) и (6):

$$\begin{aligned}N_r &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_r dz = C_{11}(u_{,r} h - kwh + 0.5hw_{,r}^2) + C_{12}\left(\frac{u}{r} h - kwh\right) - I_{11} - \varepsilon_{1T}; \\ N_\varphi &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_\varphi dz = C_{12}(u_{,r} h - kwh + 0.5hw_{,r}^2) + C_{22}\left(\frac{u}{r} h - kwh\right) - I_{22} - \varepsilon_{2T}; \\ M_r &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_r z dz = C_{11}\left(\frac{-w_{,rr} h^3}{12}\right) + C_{12}\left(\frac{-w_{,r} h^3}{12r}\right) - J_{11} - \chi_{1T}; \\ M_\varphi &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_\varphi z dz = C_{12}\left(\frac{-w_{,rr} h^3}{12}\right) + C_{22}\left(\frac{-w_{,r} h^3}{12r}\right) - J_{22} - \chi_{2T},\end{aligned}\tag{8}$$

где $I_{ii} = \int_{-h/2}^{h/2} R_{ii} dz$; $J_{ii} = \int_{-h/2}^{h/2} R_{ii} z dz$; $\varepsilon_{iT} = \int_{-h/2}^{h/2} \varphi_{iT} dz$; $\chi_{iT} = \int_{-h/2}^{h/2} \varphi_{iT} z dz$.

Подставляя в уравнения равновесия (7) соотношения для усилий (8), получим систему разрешающих дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} & -P_{11}w_{,rrrr} - \frac{2P_{11}}{r}w_{,rrr} + w_{,rr} \left[\frac{P_{22}}{r^2} + C_{11}hu_{,r} + C_{12} \frac{uh}{r} - S_{11}w + 0.5C_{11}h(w_{,r})^2 \right] + \\ & + \frac{-P_{22}}{r^3}w_{,r} + 0.5S_{11}(w_{,r})^2 - kw(S_{11} + S_{22}) + S_{11}u_{,r} + \frac{S_{22}}{r}u - w_{,rr}(I_{11} + \varepsilon_{1T}) - \\ & - J_{11,rr} - \chi_{1T,rr} - \frac{1}{r}(2J_{11,r} - J_{22,r} + 2\chi_{1T,r} - \chi_{2T,r}) - k(I_{11} + I_{22} + \varepsilon_{1T} + \varepsilon_{2T}) = -q; \\ & P_{11}kw_{,rrr} + w_{,rr} \left(C_{11}hw_{,r} + \frac{P_{11}k}{r} \right) + w_{,r} \left(-S_{11} - P_{22} \frac{k}{r^2} \right) + 0.5 \frac{h(C_{11} - C_{12})}{r} (w_{,r})^2 + \\ & + \frac{(S_{22} - S_{11})}{r}w + C_{11}hu_{,rr} + \frac{C_{11}h}{r}u_{,r} - \frac{C_{22}h}{r^2}u - \\ & - I_{11,r} + kJ_{11,r} - \varepsilon_{1T,r} + k\chi_{1T,r} - \frac{1}{r}[I_{11} - I_{22} + \varepsilon_{1T} - \varepsilon_{2T} - k(J_{11} - J_{22} + \chi_{1T} - \chi_{2T})] = 0, \end{aligned} \right. \quad (9)$$

где $P_{ij} = C_{ij} \frac{h^3}{12}$; $S_{11} = kh(C_{11} + C_{12})$; $S_{22} = kh(C_{22} + C_{12})$.

Полученную систему разрешающих уравнений необходимо дополнить граничными условиями. Так как оболочка по периметру имеет жесткую заделку, то принимаем на контуре оболочки радиальные перемещения, прогибы и угол поворота срединной поверхности в радиальном направлении равными нулю ($u = 0, w = 0, w_{,r} = 0$), а в центре оболочки поворот нормали к срединной поверхности, радиальные перемещения и градиент радиального момента по радиусу равными нулю ($w_{,r} = 0, u = 0,$

$$M_{r,r} = C_{11} \left(\frac{-w_{,rrr} h^3}{12} \right) + C_{12} \left(\frac{-w_{,rr} h^3}{12r} \right) - J_{11,r} - \chi_{1T,r} = 0).$$

Температурная составляющая задачи. Разница температур на внутренней и внешней поверхности оболочки вносит значительную корректировку в результаты расчета НДС конструкций [3 – 6]. Для определения температурных компонент в уравнении (9) следует отдельно рассмотреть задачу о передаче тепла через поверхность оболочки. Процесс теплопередачи описывается классическим уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_1 \cdot T_{,rr} + a_2 \cdot T_{,\varphi\varphi} + a_3 \cdot T_{,zz},$$

где a_1, a_2, a_3 – коэффициенты теплопроводности, характеризующие теплоинерционные свойства тела.

Наиболее часто встречающиеся на практике задачи связаны со стационарным одномерным температурным полем с температурным перепадом по толщине конструкции. В этом случае температура зависит только от одной координаты (например z) – нормали к изотермическим поверхностям.

В компактной форме для одномерного случая уравнение теплопроводности запишется в виде: $T_{,t} = a_3 T_{,zz}$, где t – текущее время; $a_3 = \lambda/c$ – коэффициент теплопроводности; λ – коэффициент теплопроводности; c – удельная объемная теплоемкость тела.

Так как оболочка достаточно тонкая и коэффициент теплопроводности рассматриваемых материалов относительно велик, то установление линейного распределения температуры по толщине оболочки наступает достаточно быстро в течение короткого промежутка времени. В связи с этим целесообразно рассматривать момент времени, когда распределение температуры установилось.

В определенный момент времени, когда будет наблюдаться установившееся температурное распределение по толщине оболочки, для вычисления перепада температур ΔT в любой точке по толщине можно воспользоваться линейным законом распределения температуры:

$$T(z) = (T_2 - T_1)z/h + (T_1 + T_2)/2 - T_0,$$

где T_1 – температура на внутренней поверхности оболочки; T_2 – температура на внешней поверхности оболочки; T_0 – начальная температура оболочки.

Заключение. Для рассматриваемой несвязанной термоупругой задачи о деформировании пологой сферической оболочки из анизотропных разносопротивляющихся материалов была выведена система разрешающих уравнений. Так как задача является нелинейной как физически, так и геометрически, планируется провести линейризацию полученных разрешающих дифференциальных уравнений, следуя методике последовательных нагружений В.В.Петрова [7], а затем с помощью метода конечных разностей получить систему линейризованных алгебраических уравнений. Решать систему предполагается дважды на каждом этапе нагружения согласно двухшаговому методу последовательного возмущения параметров В.В.Петрова [7]. Это позволит многократно сократить погрешность линейризации методом последовательных нагружений и уменьшить требуемое количество шагов по нагрузке и затраты машинного времени.

Список литературы

1. Трещёв А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2016. 328 с.
2. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. 271 с.
3. Трещёв А.А., Спасская М.В. Решение задачи термоупругости для цилиндрической оболочки из анизотропного разносопротивляющегося материала // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11: в 2 ч. Ч. 2. С. 567-575.
4. Трещёв А.А., Спасская М.В. Термоупругое деформирование цилиндрической оболочки из анизотропного разносопротивляющегося материала // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2015. №1(23). С. 65-74.
5. Делягин М.Ю. Исследование НДС сферической оболочки из разносопротивляющегося материала в условиях термомеханического нагружения с помощью МКЭ // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №4. С. 40-45.
6. Трещёв А.А., Делягин М.Ю. Моделирование оболочки из изотропного разносопротивляющегося графита с помощью объемных конечных элементов с учетом связанности напряжений и температур // Materials Physics and Mechanics. 2013. Vol. 17. No 1. P. 59-70.
7. Петров В.В., Кривошеин И.В. Методы расчета конструкций из нелинейно деформируемого материала : учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 208 с.

УДК 536.75

Б.Л. Павлов, А.И. Никишина, Е.Г. Давыдова

ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ВЫРОЖДЕННОГО ИДЕАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА

Показано, что в интервале температур $0 < T < T_0$ (T_0 – температура вырождения) идеальный электронный газ распадается на два компонента: первый состоит из N_{oc} частиц, «осевших» на самых нижних уровнях энергии электрона согласно принципу Паули («конденсат»), второй – из $N_{св}$ «свободных» частиц, имеющих химический потенциал $\mu = 0$. Переход частиц из второго компонента в первый трактуется как конденсация Ферми-Дирака. Предлагается модель полностью вырожденного идеального электронного газа.

Ключевые слова: открытые и закрытые равновесные системы, температура вырождения, двухкомпонентный вырожденный идеальный электронный газ, конденсация Ферми-Дирака

B.L. Pavlov, A.I. Nikishina, E.G. Davydova

TWO-COMPONENT MODEL OF A DEGENERATE IDEAL ELECTRON GAS

It is shown that in the temperature range $0 < T < T_0$ (T_0 - degeneracy temperature) ideal electron gas breaks down into two components: the first consists of N_{oc} particles "settled" on the lowest electron energy levels, according to the Pauli principle ("condensate"), the second - $N_{св}$ of "free" particles having a chemical potential $\mu = 0$. Transition of particles from second component in the first is considered as the condensation of Fermi-Dirac. It is proposed model of completely degenerate ideal electron gas.

Keywords: open and closed equilibrium systems, the degeneration temperature, two-degenerate ideal electron gas, the Fermi-Dirac condensation

Введение. Термодинамика открытых равновесных систем (систем с переменным числом частиц N) была впервые развита в работе [1], а её применение к различным разделам физики в [2] и, наконец, в монографии [3]. Краткое содержание монографии изложено в обзор-рецензии [4]. В этих работах показано, что условием открытости однокомпонентной системы является равенство нулю химического потенциала её частиц ($\mu = 0$). Введен единственный термодинамический параметр открытой однокомпонентной системы: абсолютная температура T . Вместо таких обычных термодинамических характеристик закрытой системы, как свободная энергия F , внутренняя энергия U , энтропия S , постоянное число частиц N_0 , для открытой системы введены её термодинамические характеристики, которые представляют собой объёмные плотности этих физических величин: $P = F' = \frac{F}{V}$, $U' = \frac{U}{V}$, $S' = \frac{S}{V}$, $N' = \frac{N}{V}$, являющиеся функциями только одной абсолютной температуры T . В открытой системе существует только один равновесный процесс $P = P(T)$, связанный с изменением числа частиц в ней при изменении температуры. Получено уравнение состояния в неявной форме (последнее одновременно является и уравнением равновесного процесса, происходящего в них)

$$\frac{dP(T)}{dT} = S'(T) . \quad (1)$$

Введено понятие плотности теплоёмкости открытой системы

$$C'(T) = \frac{dU'(T)}{dT}. \quad (2)$$

Целью данной работы является подробное описание поведения вырожденного идеального электронного газа при низких температурах и при абсолютном нуле.

Термодинамические характеристики идеального ферми-газа как закрытой системы. Согласно [3] число квантовых состояний частицы, не имеющей спина, с модулем импульса p , движущейся в объёме куба периодичности $V = L^3$ (L - длина ребра куба) в квазиклассическом случае для идеального газа равно: $m^3 = V \left(\frac{p}{h}\right)^3$.

В квазиклассическом случае [3] величина m , как и p считается непрерывной величиной, изменяющейся от 0 до ∞ . Поэтому, дифференцируя это выражение, получим элементарное число квантовых состояний частицы со спином s , модулем импульса p , движущейся в объёме V куба периодичности: $3gm^2 dm = 3gVh^{-3}p^2 dp$, где $g = 2s + 1$. Тогда распределение Ферми-Дирака можно теперь записать в следующей дифференциальной форме [3]

$$d\bar{n}(m) = 3g \frac{m^2 dm}{\exp[(\varepsilon(m) - \mu)(kT)^{-1}] + 1}, \quad (3)$$

а термодинамические характеристики идеального ферми-газа как закрытой системы ($\mu \neq 0$) можно представить так [3]

$$N_0 = \int_0^\infty d\bar{n}(m) = 3g \int_0^\infty \frac{m^2 dm}{\exp[(\varepsilon_1 m^2 - \mu)(kT)^{-1}] + 1}, \quad (4)$$

$$U = \int_0^\infty \varepsilon(m) d\bar{n}(m) = 3g\varepsilon_1 \int_0^\infty \frac{m^4 dm}{\exp[(\varepsilon_1 m^2 - \mu)(kT)^{-1}] + 1}, \quad (5)$$

$$\Omega = F - \mu N_0 = -PV = -3gkT \int_0^\infty \ln\{1 + \exp[(\mu - \varepsilon(m))(kT)^{-1}]\} m^2 dm, \quad (6)$$

где $\varepsilon(m) = \frac{h^2 m^2}{2m_0 V^{2/3}}$. В (6) произведём интегрирование по частям, получим [3]

$$\Omega = F - \mu N_0 = -PV = -2g\varepsilon_1 kT \int_0^\infty \frac{m^4 dm}{\exp[(\varepsilon_1 m^2 - \mu)(kT)^{-1}] + 1}, \quad (7)$$

где $\varepsilon_1 = \frac{h^2}{2m_0 V^{2/3}}$, а $\Omega = -PV$ - большой термодинамический потенциал Гиббса.

Для идеального электронного газа, который также является ферми-газом, величина $g = 2 \frac{1}{2} + 1 = 2$.

Определение температуры вырождения идеального электронного газа. При понижении температуры химический потенциал идеального газа, оставаясь отрицательным, уменьшается по абсолютной величине и при некоторой температуре T_0 обращается в нуль ($\mu = 0$) [3]. Эта температура носит название температуры его вырождения T_0 , а идеальный газ при $T \leq T_0$ называется вырожденным. Полагая в уравнении (4) $\mu = 0$ и $T = T_0$, получим для идеального электронного газа

$$N_0 = 6 \int_0^\infty \frac{m^2 dm}{\exp(\alpha_0 m^2) + 1}, \quad (8)$$

где $\alpha_0 = \frac{h^2}{2m_0 V^{2/3} k T_0}$. Введём новую переменную $x = m^2$. Тогда согласно [5]

$$\int_0^\infty \frac{m^2 dm}{\exp(\alpha_0 m^2) + 1} = \frac{1}{2} \int_0^\infty \frac{x^{1/2} dx}{\exp(\alpha_0 x) + 1} = \frac{(\sqrt{2}-1)\Gamma(\frac{3}{2})\zeta(\frac{3}{2})}{(2\alpha_0)^{3/2}}, \quad (9)$$

где $\zeta(\frac{3}{2}) \approx 2,612$, $\Gamma(\frac{3}{2}) = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$. Подставляя (9) в (8) и решая это уравнение относительно T_0 , найдём температуру вырождения идеального электронного газа

$$T_0 = \frac{h^2}{k m_0} \left\{ \frac{N_0'}{3\sqrt{\pi} (\sqrt{2}-1) \zeta(\frac{3}{2})} \right\}^{2/3}. \quad (10)$$

Вычисление температуры вырождения идеального ферми-газа, состоящего из электронов. Рассмотрим гипотетический идеальный ферми-газ, состоящий из частиц, масса которых равна массе электрона $m_0 = m_e = 0,91 \cdot 10^{-30}$ кг, а спин $s = \frac{1}{2}$ в единицах \hbar , т.е. газ из невзаимодействующих электронов. По определению [6] число структурных элементов (атомов, молекул, ионов и т.д.) в 1 м^3 одного моля вещества, находящегося в состоянии идеального газа при нормальных условиях ($P = 1,01325 \cdot 10^5$ Па = 760 мм рт. ст., $V_\mu = 2,2414 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \text{ моль}^{-1}$ есть число Лошмидта $N_L = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. Будем с помощью изохорического процесса ($V_\mu = \text{const}$) в данном невырожденном идеальном электронном газе приближаться к температуре его вырождения. В этом случае $N_0' = N_L$, так как в невырожденном идеальном газе $N_0 = \text{const}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж К⁻¹, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж с. Подставляя в (10) все данные, получим температуру вырождения идеального электронного газа $T_0 = 976 \text{ К}$.

Однокомпонентный вырожденный идеальный электронный газ. Перепишем уравнения (4) – (7) в терминах открытых систем, учитывая, что для открытых систем (при $T < T_0$) $\mu = 0$, а $N \rightarrow N'$, $U \rightarrow U'$, $F \rightarrow F'$ и $V = V_\mu$

$$N' = 6V_\mu^{-1} \int_0^\infty \frac{m^2 dm}{\exp(\alpha m^2) + 1}, \quad (11)$$

$$U' = 6\alpha k T V_\mu^{-1} \int_0^\infty \frac{m^4 dm}{\exp(\alpha m^2) + 1}, \quad (12)$$

$$F' = -P = -4\alpha k T V_\mu^{-1} \int_0^\infty \frac{m^4 dm}{\exp(\alpha m^2) + 1}. \quad (13)$$

где $\alpha = \frac{h^2}{2m_e V_\mu^{2/3} k T}$. В интеграле из (13) введём новую переменную $x = m^2$. Тогда согласно

[5]

$$\int_0^\infty \frac{m^4 dm}{\exp(\alpha m^2) + 1} = \frac{1}{2} \int_0^\infty \frac{x^{3/2} dx}{\exp(\alpha x) + 1} = \frac{1}{2} \int_0^\infty \frac{x^{5/2-1} dx}{\exp(\alpha x) + 1} = \frac{\Gamma(\frac{5}{2})\zeta(\frac{5}{2})}{2\alpha^{5/2}} (1 - 2 \cdot 2^{-5/2}), \quad (14)$$

где $\zeta\left(\frac{5}{2}\right) \approx 1,341$, $\Gamma\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{3\sqrt{\pi}}{4}$. Электроны, у которых $\mu = 0$, будем считать принадлежащими одному компоненту. Припишем им название «свободных». Смысл этого названия выяснится дальше. Таким образом, построена однокомпонентная модель вырожденного идеального электронного газа. Подставляя (14) в соответствующие уравнения (11) – (13), получим для вырожденного однокомпонентного идеального электронного газа

$$N_{\text{св}}' = 3\sqrt{\pi}(\sqrt{2} - 1) \frac{\zeta\left(\frac{3}{2}\right)(km_e T)^{\frac{3}{2}}}{h^3}, \quad (15)$$

$$U_{\text{св}}' = 9\sqrt{\pi}kT(2\sqrt{2} - 1) \frac{\zeta\left(\frac{5}{2}\right)(km_e T)^{\frac{3}{2}}}{4h^3}, \quad (16)$$

$$F_{\text{св}}' = -P_{\text{св}} = -3\sqrt{\pi}kT(2\sqrt{2} - 1) \frac{\zeta\left(\frac{5}{2}\right)(km_e T)^{\frac{3}{2}}}{2h^3}. \quad (17)$$

Из уравнения (15) следует, что $\frac{N_{\text{св}}'(T)}{N_{\text{св}}'(T_0)} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}$, учитывая, что $V_{\mu} = \text{const}$, а $N(T_0) = N_0$. Как известно [6], число структурных элементов (в нашем случае электронов) в единице количества вещества (в одном моле) есть число Авогадро $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Если все идеальные газы брать в количестве одного моля, то согласно закону Авогадро $N_0 = N_A \approx 6,0 \cdot 10^{23}$. Тогда получим следующий закон уменьшения числа «свободных» электронов в вырожденном идеальном электронном газе при понижении в нём температуры

$$N_{\text{св}}(T) = N_A \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}. \quad (18)$$

Можно показать, что

$$U_{\text{св}}'(T) = \frac{3(2\sqrt{2}-1)\zeta\left(\frac{5}{2}\right)kT}{4(\sqrt{2}-1)\zeta\left(\frac{3}{2}\right)} N_{\text{св}}'(T). \quad (19)$$

$$P_{\text{св}}(T) = \frac{(2\sqrt{2}-1)\zeta\left(\frac{5}{2}\right)kT}{2(\sqrt{2}-1)\zeta\left(\frac{3}{2}\right)} N_{\text{св}}'(T). \quad (20)$$

Уравнение (20) представляет собой уравнение состояния вырожденного идеального электронного газа, состоящего из «свободных» электронов. Очевидно, оно справедливо в интервале температур ($0 < T \leq T_0$). Согласно [3] это уравнение в то же время описывает один единственный процесс в открытой равновесной системе – убыль в ней числа частиц с уменьшением в ней абсолютной температуры по закону в (18). Плотность энтропии вырожденного идеального электронного газа как открытой системы можно получить из уравнения (1)

$$S_{\text{св}}'(T) = \frac{dP_{\text{св}}(T)}{dT} = \frac{5(2\sqrt{2}-1)\zeta\left(\frac{5}{2}\right)k}{4(\sqrt{2}-1)\zeta\left(\frac{3}{2}\right)} N_{\text{св}}'(T), \quad (21)$$

а плотность теплоёмкости вырожденного идеального электронного газа получим, используя формулу в (2)

$$C_{cb}'(T) = \frac{dU_{cb}'(T)}{dT} = \frac{15(2\sqrt{2}-1)\zeta(\frac{5}{2})k}{8(\sqrt{2}-1)\zeta(\frac{3}{2})} N_{cb}'(T) . \quad (22)$$

Недостатки однокомпонентной модели вырожденного идеального электронного газа. Полученный выше вырожденный идеальный электронный газ представлен только одним компонентом, состоящим из «свободных» электронов, химический потенциал которых равен нулю. Нетрудно убедиться, что все термодинамические характеристики этого компонента при абсолютном нуле обращаются в нуль:

$$N_{cb}'(0) = 0, \quad U_{cb}'(0) = 0, \quad F_{cb}'(0) = 0, \quad P_{cb}'(0) = 0, \quad S_{cb}'(0) = 0, \quad C_{cb}'(0) = 0, \quad (23)$$

Это означает, что, если вырожденный идеальный электронный газ считать однокомпонентным, то он при абсолютном нуле исчезает. Очевидно, что это просто абсурдно. Нетрудно видеть, что такие результаты получены вследствие того, что идеальный электронный газ рассматривался в квазиклассическом приближении (квантовое число m изменяется от 0 до ∞), которое противоречит квантовой механике [3]. Введём другое приближение: а именно, будем считать, что квантовое число m является непрерывной величиной, которое изменяется уже от 1 до ∞ . Такое приближение назовём квазиквантовым (как бы квантовым) [3]. При таком приближении наименьшая энергия частицы согласно (9) имеет значение $\varepsilon_1 = \frac{h^2}{2m_0V^{\frac{2}{3}}}$. Теперь скапливающиеся на уровне

энергии $\varepsilon_1 \neq 0$ частицы с учётом принципа Паули уже должны вносить свой вклад в энергию и давление вырожденного идеального электронного газа. Совокупность таких частиц можно рассматривать как новый компонент этого вырожденного электронного газа («конденсат» вырожденного идеального электронного газа).

Понятие о двухкомпонентной модели вырожденного идеального электронного газа. Следуя терминологии, развитой в работе [3], введём два компонента вырожденного идеального электронного газа: один состоит частиц, «осевших» на самых нижних уровнях энергии с учётом принципа Паули («конденсат»), другой состоит из «свободных» частиц. Этим компонентам припишем различные температуры: «конденсату» $T = 0$, а другому компоненту температуру T . Термодинамические характеристики компонента, состоящего из «свободных» частиц, найдены выше при квазиклассическом приближении. При рассмотрении этих компонентов в квазиквантовом приближении необходимо в уравнениях (11) – (13) производить интегрирование по квантовому числу m уже в пределах от 1 до ∞ . Однако можно показать, что такое изменение пределов интегрирования не влияет на результаты, полученные ранее. Найдём химический потенциал частиц «конденсата». По определению [7]

$$\mu_{oc} = N_{oc}^{-1}(U_{oc} + P_{oc}V_{\mu}) = \varepsilon_1 + P_{oc}v_{\mu} , \quad (24)$$

где $v_{\mu} = \frac{V_{\mu}}{N_{oc}}$, $\varepsilon_1 = \frac{h^2}{2m_eV_{\mu}^{\frac{2}{3}}}$. Здесь учтено, что для частиц «конденсата» $T = 0$. Очевидно, что

$\varepsilon_1 > 0$, $P_{oc}v_{\mu} > 0$. Следовательно, и $\mu > 0$, т.е. $\mu \neq 0$. Таким образом, «конденсат» представляет собой закрытую систему. Отметим, что в любой замкнутой закрытой термодинамической системе должен выполняться закон сохранения её частиц. В невырожденном идеальном электронном газе как закрытой системе таких частиц N_A . При переходе этого газа в вырожденный газ это число частиц должно сохраняться ввиду замкнутости термодинамической системы. Для вырожденного идеального электронного газа, состоящего только из одного компонента («свободных» частиц) этот закон не выполняется: при понижении температуры число частиц в нём уменьшается по закону (18), так как он представляет собой открытую систему. Поэтому для того, чтобы закон сохранения частиц в

замкнутой системе выполнялся и для вырожденного идеального электронного газа необходимо введение второго компонента, в который переходили бы частицы из первого компонента. Для двухкомпонентной модели вырожденного идеального электронного газа этот закон сохранения частиц запишется так [3]

$$N_A = N_{oc} + N_A \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}. \quad (25)$$

Из (25) следует, что при понижении температуры в вырожденном двухкомпонентном идеальном электронном газе происходит переход «свободных» частиц из одного компонента в другой («конденсат»). Процесс накопления фермионов на самых нижних уровнях энергии с учётом принципа Паули при понижении температуры идеального электронного газа ниже его температуры вырождения T_0 будем называть «конденсацией Ферми-Дирака». Это понятие было впервые введено в работе [8]. Сделаем одно важное замечание, Так как компонентам приписаны различные температуры, то между ними не может быть никакого термодинамического равновесия: химический потенциал частиц компонента, представляющего «конденсат», $\mu_{oc} \neq 0$, а химический потенциал частиц компонента, состоящего из «свободных» электронов, $\mu_{св} = 0$. Таким образом, $\mu_{oc} \neq \mu_{св}$. Равновесное состояние между числом частиц каждого из компонентов при любой температуре из интервала температур ($0 < T \leq T_0$) устанавливается с помощью закона сохранения частиц в замкнутой системе (уравнение (25)).

Понятия граничного квантового числа, граничной энергии и граничного импульса для «конденсата». Отметим, что самый нижний уровень энергии фермиона согласно квазиквантовому приближению $\varepsilon_1 \neq 0$. Согласно принципу Паули при абсолютном нуле все N_A фермионов полностью заполняют все нижние состояния (в каждом состоянии только один фермион) от $m = 1$ до некоторого граничного значения m_F в случае квазиквантового приближения. Согласно [3] для идеального ферми-газа это математически запишется так

$$N_A = 3g \int_1^{m_F} m^2 dm, \quad (26)$$

где для электронов $g = 2$. После интегрирования получим: $N_A = 2(m_F^3 - 1) \approx 2m_F^3$. Из этого уравнения находим значение граничного квантового числа m_F или квантовое число Ферми для идеального электронного газа при абсолютном нуле

$$m_F = \left(\frac{N_A}{2}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (27)$$

Впервые понятие граничного квантового числа для идеального ферми-газа при абсолютном нуле $m_F = \left(\frac{N_A}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$ было введено в работе [9]. Тогда граничная энергия или энергия Ферми для идеального электронного газа, находящемся при абсолютном нуле. Равна

$$\varepsilon_F = \varepsilon(m_F) = \frac{h^2}{2m_e} \left(\frac{N_A}{2V\mu}\right)^{\frac{2}{3}}. \quad (28)$$

Величина

$$p_F = (2m_e \varepsilon_F)^{1/2} = h \left(\frac{N_0}{2V\mu}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (29)$$

носит название граничного импульса или ферми-импульса идеального электронного газа при абсолютном нуле.

Термодинамические характеристики «конденсата». Пусть в вырожденном идеальном электронном газе на самых нижних уровнях энергии согласно принципу Паули

при данной температуре T ($T < T_0$) «осели» N_{oc} электронов. Тогда внутренняя энергия «конденсата» из этих частиц

$$U_{oc} = 6 \int_1^{m_{oc}} \varepsilon(m) m^2 = \frac{3 h^2}{m_e V_\mu^3} \int_1^{m_{oc}} m^4 dm, \quad (30)$$

где в соответствии с (27) $m_{oc} = \left(\frac{N_{oc}}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$.

Интегрируя выражение в (30), получим внутреннюю энергию «конденсата»

$$U_{oc} = \frac{3 h^2}{5 m_e V_\mu^3} (m_{oc}^5 - 1) \approx \frac{3 h^2 m_{oc}^5}{5 m_e V_\mu^3} = \frac{3 h^2}{5 m_e V_\mu^3} \left(\frac{N_{oc}}{2}\right)^{\frac{5}{3}}. \quad (31)$$

В монографии [3] впервые введено «термодинамическое определение» числа степеней свободы частицы или квазичастицы

$$i = \frac{2U}{PV}, \quad i = \frac{2U'}{P}. \quad (32)$$

В (32) первое уравнение относится к закрытой системе (системе с постоянным числом частиц или квазичастиц, $\mu \neq 0$), а второе к открытой системе (системе с переменным числом частиц или квазичастиц, $\mu = 0$). Учитывая, что электроны рассматриваются как некоторые материальные точки (частицы), для которых число степеней свободы $i = 3$, из (32) следует, что

$$P_{oc} = \frac{2U_{oc}}{i V_\mu} = \frac{2}{3} \frac{U_{oc}}{V_\mu}. \quad (33)$$

Следовательно,

$$P_{oc} = \text{const} \cdot N_{oc}^{\frac{5}{3}}, \quad (34)$$

где $\text{const} = \frac{h^2}{5 \cdot 2^{\frac{5}{3}} m_e V_\mu^3}$. Выражение (34) является уравнением состояния «конденсата». В частности, когда компонент, состоящий из электронов, у которых химический потенциал $\mu_{cb} = 0$, имеет температуру $T = 0$, давление $P_{cb} = 0$, а давление «конденсата» достигает максимального значения $P_{oc} = \text{const} \cdot N_A^{\frac{5}{3}}$. Подставляя в уравнение (24) значения U_{oc} и P_{oc} , и учитывая, что для «осевших» электронов $T = 0$, найдём химический потенциал электронов «конденсата»

$$\mu_{oc} = \frac{h^2}{2m_e} \left(\frac{N_{oc}}{2 V_\mu}\right)^{\frac{2}{3}}. \quad (35)$$

При абсолютном нуле $N_{oc} = N_A$ и, следовательно, $\mu_{oc} = \varepsilon_F$.

Для нахождения энтропии «конденсата» S_{oc} воспользуемся её статистическим определением, которое было дано Больцманом: $S_{oc} = k \ln W_{oc}$, где W_{oc} - термодинамическая вероятность, представляющая собой число микросостояний, с помощью которых может быть осуществлено данное макросостояние. В случае статистики Ферми-Дирака по принципу Паули в одном квантовом состоянии не может быть больше одной частицы. Тогда число возможных различных перестановок N_{oc} частиц по m_{oc} квантовым состояниям будет [10]

$$W_{oc} = \frac{m_{oc}!}{(m_{oc} - N_{oc})! N_{oc}!}. \quad (36)$$

Учитывая, что $m_{oc} = N_{oc}$ (все квантовые уровни заняты электронами), а также, что $(m_{oc} - N_{oc})! = 0! = 1$, получим $W_{oc} = 1$, а, следовательно, и $S_{oc} = 0$.

В «конденсате» как закрытой системе можно ввести понятие теплоёмкости при данном изопроцессе [3]. Следовательно, можно ввести теплоёмкости при постоянном объёме и при постоянном давлении: $(C_{oc})_{V_m} = \left(\frac{\partial U_{oc}}{\partial T}\right)_{V_\mu}$, $(C_{oc})_{P_{oc}} = \left(\frac{\partial U_{oc}}{\partial T}\right)_{P_{oc}}$. Но внутренняя энергия «конденсата» не зависит от температуры T , поэтому $(C_{oc})_{V_\mu} = 0$ и $(C_{oc})_{P_{oc}} = 0$.

Общее давление вырожденного идеального электронного газа складывается из давлений, создаваемых каждым из двух компонентов: $P(T) = P_{oc} + P_{cb}(T)$.

При $T = T_0$ имеем $P = P_{cb}$ (вырожденный идеальный электронный газ состоит только из «свободных» электронов), а при $T = 0$ имеем $P = P_{oc}$ (вырожденный идеальный электронный газ представляет собой только «конденсат»).

Полностью вырожденный идеальный электронный газ. При абсолютном нуле вырожденный идеальный электронный газ превращается в однокомпонентную закрытую систему, состоящую только из «конденсата», так как компонент, состоящий из «свободных» электронов исчезает. Такой газ можно назвать полностью вырожденным. Очевидно, что внутренняя энергия его и давление, если считать, что объём V его изменяется в интервале $(0 < V \leq V_\mu)$, будут соответственно

$$U(V) = \frac{3 h^2}{5 m_e V^{2/3}} \left(\frac{N_A}{2}\right)^{5/3}, \quad P(V) = \frac{2 h^2}{5 m_e V^{5/3}} \left(\frac{N_A}{2}\right)^{5/3}. \quad (37)$$

Второе уравнение в (37) можно переписать так: $PV^{5/3} = \text{const}$, где $\text{const} = \frac{2 h^2}{5 m_e} \left(\frac{N_A}{2}\right)^{5/3}$. Оно описывает уравнение состояния полностью вырожденного идеального электронного газа. Это же уравнение описывает также и единственный процесс, который можно в нём осуществить - изотермическое ($T = 0$) сжатие «конденсата» ($0 < V \leq V_m$). Нетрудно показать, что химический потенциал полностью вырожденного идеального электронного

газа: $\mu = \frac{h^2}{2 m_e} \left(\frac{N_A}{2 V}\right)^{2/3}$. Очевидно, что для полностью вырожденного идеального электронного газа $S = 0$, $C_V = C_P = 0$.

Критические замечания. Отметим, что теория вырожденного идеального электронного газа в работе [7] отсутствует. Не введено точного значения температуры вырождения идеального электронного газа, дано лишь приближённое её определение: $T_0 \approx \varepsilon_F k^{-1}$. Отсутствует понятие «конденсации Ферми-Дирака» как единственного равновесного процесса, который происходит в вырожденном идеальном электронном газе при понижении его температуры. Авторы рассматривают идеальный электронный газ при низких температурах как закрытую систему, т.е. как невырожденный идеальный газ. Поэтому приходят к неправильному выводу, что при низких температурах теплоёмкость при постоянном объёме идеального электронного газа пропорциональна абсолютной температуре. В открытой системе следует рассматривать только плотность теплоёмкости вырожденного идеального электронного газа, которая пропорциональна $T^{3/2}$.

Заключение. Найдена температура вырождения идеального электронного газа. Построена модель двухкомпонентного вырожденного идеального электронного газа, на основе которой объяснено явление конденсации Ферми-Дирака. Предложена модель полностью вырожденного идеального электронного газа. Сделаны некоторые критические замечания по современной теории вырожденного идеального электронного газа.

Список литературы

1. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Уравнение состояния открытых систем. Воронеж. гос. инженер.-строит. институт. // Воронеж, 1993. 14 с. – Деп. в ВИНТИ 29.06.93, № 1792 – В93.
2. Павлов Б.Л., Белко В.Н. К теории открытых систем. // Воронеж. гос. архит.-строит. университет. – Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – Научный вестник. - № 5. – Воронеж, 2012. – С. 33 -37.
3. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Теория открытых равновесных систем и её применение в физике. Монография // Воронеж. гос. архит.-строит. университет. – Воронеж, 2015. – 138 с.
4. Давыдова Е.Г. Обзор-рецензия монографии Б.Л. Павлова, В.Н. Белко «Теория открытых равновесных систем и её применение в физике» // Воронеж. гос. архит.-строит. университет. – Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – Научный вестник. – Выпуск № 2(11). – Воронеж, 2015. – С. 128 -131.
5. Двайт В.Г. Таблицы интегралов и других математических формул. – М.: Наука, 1983. – 172 с
6. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Статистическая физика. – Т. V. – Ч. I. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 616 с.
8. Павлов Б.Л., Белко В.Н. О конденсации Ферми-Дирака в идеальном ферми-газе // Воронеж. гос. технологическая академия. – Вестник ВГТА. – № 4. – Воронеж, 2000. – С. 92.
9. Павлов Б.Л., Белко В.Н. Двухкомпонентная модель вырожденного идеального ферми-газа, состоящего из частиц // Воронеж. гос. архит.-строит. университет. – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 10.08.2012, № 334 – В2012.
10. Ноздрёв, В.Ф., Сенкевич А.А. Курс статистической физики. – М.: Высшая школа, 1965. – 288 с.

Павлов Борис Леонидович – ассистент кафедры физики Воронежского государственного университета инженерных технологий. Тел. (473)2538054, E-mail: borispavlovvrn@gmail.com

Никишина Анна Игоревна – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики Воронежского государственного технического университета. Тел.(473)2715004, E-mail: ann-nikishina@yandex.ru

Давыдова Екатерина Геннадьевна – к.х.н., доцент кафедры химии Воронежского государственного технического университета. Тел.8(950)772-85-02, E-mail: eg_@vgasu.vrn.ruann-nikishina@yandex.ru

ОБРАЗОВАНИЕ И ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 378.09

Е.Г. Давыдова, В.В. Власов, С.М. Усачев, А.М. Усачев

ХИМИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ВГТУ

В статье рассмотрены возможности и перспективы получения высшего образования по ряду инженерных специальностей естественнонаучного и строительного профиля в Строительно-технологическом институте Воронежского государственного технического университета.

Ключевые слова: химия, технология, материаловедение, обучение

E.G. Davydova, V.V. Vlasov, S.M. Usachev, A.M. Usachev

CHEMISTRY, TECHNOLOGY AND MATERIAL SCIENCE. CONTEMPORARY APPROACH TO EDUCATION ON THE CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL INSTITUTE OF VSTU

The article discusses the possibilities and prospects of higher education in a number of engineering specialties of science and building profile in the Civil Engineering and Technological Institute, Voronezh State Technical University.

Keywords: chemistry, technology, material science, education.

"Современное химическое производство
выглядит фантастически и привлекает
молодежь неограниченными возможностями."

*Петр Образцов,
газета "Химия",
19 сентября 2016 понедельник № 210 (7078)*

На сегодняшний день, успешно развивающиеся отрасли мирового химического комплекса ежегодно демонстрируют прирост ВВП на уровне 4,9 % и более по сравнению с мировым ВВП, увеличивающимся на 2,9 % в год [1]. На международной выставке химической промышленности и науки "Химия - 2016", проходившей в ЦВК "Экспоцентр" Москва, отмечалось, что химическая промышленность является важной составляющей государственной экономики. Президент Союза химиков Виктор Иванов в своем обращении к делегатам Форума отметил, что на его взгляд, химия и нефтехимия могут быть локомотивом роста экономики. А ведущие российские предприятия, такие как «Уралхим», «Фосагро», «Химпэк», «Фармконтракт», «Текса», расположенные на территории нашего региона: металлургический холдинг «Металлоинвест», «Белнефтехим», холдинг «Сибур», ОАО «Комбинат КМАруда», ЗАО «Лакокрасочный завод рикколор», «Воронежский шинный завод пирелли», АО «Минудобрения», Новолипецкий металлургический комбинат, завод "Свободный сокол", Семилукский завод по производству огнеупоров и другие компании строительного, химического профиля, здравоохранения и др., внедряющие инновационные технологии в производство, а также научно-исследовательские институты, разрабатывающие эти технологии нуждаются в квалифицированных кадрах, способных работать на новейшем оборудовании, понимающих принципы и технологии создания инновационных материалов.

Подготовка таких специалистов имеет ряд особенностей. Конечно, обучение материаловедов требует высокого уровня знаний по таким естественно-научным дисциплинам как математика, химия и физика. Предметы эти признаются сложными многими студентами, однако, и интересными тоже. Создание новых материалов, возможности их анализа и применения в строительной, химической и нефтехимической промышленности, медицине, экологии, ресурсо- и энергосбережении - вот неполный перечень новых реалий, стать участниками которых предстоит студентам, обучающимся в строительно-технологическом институте ВГТУ. Часто звучащая в СМИ и в аудиториях приставка "нано" столь непонятная, сколь и притягивающая, становится для наших студентов необычайным миром возможностей и открытий. Кроме того, студенты химико-материаловедческих специальностей имеют уникальную возможность проследить полный цикл подготовки конкурентоспособных материалов и изделий, внедрения новейших технологий производства строительных материалов от идеи и фундаментальных исследований, через стадию прикладных исследований до выпуска опытной партии и коммерциализации полученных результатов.

Подготовка бакалавров материаловедческого профиля - химико-технологического блока ведется в строительно-технологическом институте и включает направления подготовки: «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций», «Химия, физика и механика материалов», «Химическая технология». Магистерские программы этих направлений курируются ведущими профессорами института. На базе кафедры химии строительно-технологического института с 2017 года открывается новая специальность средне-профессионального образования 18.02.01 «Аналитический контроль качества химических соединений» очной формы обучения сроком 3 года 10 месяцев и квалификацией выпускника - техник. Этот этап подготовки является также важной подготовительной ступенью химической подготовки. Наличие многоступенчатой системы образования позволяет учащимся повысить квалификацию, обучаясь по одному направлению, либо расширить свои профессиональные возможности за счет возможности выбора направлений на разных ступенях образования.

Обучаясь на строительно-технологическом факультете по профилю *"Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций"* студенты получают возможность работать на предприятиях строительной отрасли по производству строительных материалов, изделий и конструкций, - в строительных организациях и научно-исследовательских институтах, в проектных институтах и организациях, занимающихся проектированием новых технологий, материалов и конструкций, руководителями проектных работ и строительных объектов различного назначения, - в учебных заведениях обучать студентов строительным специальностям, в коммерческих организациях, занимающихся дилерской работой по продаже и реализации различных строительных материалов, в административных органах власти, решающих вопросы лицензирования технологической деятельности строительных организаций и др. У выпускников этого направления, как ни у кого другого, имеются широкие возможности для организации собственного малого и среднего бизнеса в сфере производства новых строительных материалов.

Выпускники направления *"Химия, физика и механика материалов"* востребованы в научно-исследовательских и заводских лабораториях, занимающихся изучением свойств и разработкой технологии производства различных материалов, в том числе сверхпроводящих и магнитных, новых поколений супериоников и строительных материалов, полупроводников, полимеров и биосистем; на промышленных предприятиях, использующих и проектирующих современные материалы, методы их обработки и диагностики; в аналитических и сертификационных центрах, в центрах по определению экономической эффективности научно-исследовательских и научно-производственных работ в области наук

о материалах и наноматериалах. Специалисты по материалам могут использовать свои знания в сферах строительства, электроники, фотоники, сенсорики, информационной технологии, здравоохранения и экологии.

Химики-технологи, закончившие строительно-технологический институт ВГТУ работают на предприятиях различных отраслей, в лабораториях и научных центрах. Специалисты нужны на ресурсоперерабатывающих предприятиях, в нефтехимической промышленности, предприятиях по производству строительных материалов, в фармацевтических компаниях, косметических фирмах.

Все три направления составляют полный цикл освоения задач строительного материаловедения: создание материала с заданными свойствами – разработка и управление технологическими процессами производства – непосредственно производство изделий и конструкций с требуемым набором эксплуатационных свойств.

Востребованность выпускников института определяется рядом преимуществ обучения в СТИ, главным из которых является система обучения, напрямую связанная с возможностями внедрения передовых достижений материаловедения в практику строительного производства, которая включает помимо естественнонаучных и технологических дисциплин, предметы, связанные с моделированием технологических, химико-технологических процессов и объектов, а также научно-исследовательскую работу студентов и практику на производстве.

Особый комплекс изучаемых дисциплин из общеинженерных, специальных строительно-технологических и естественнонаучных, в частности физико-химического цикла, позволяет студенту пройти ряд ступеней развития в процессе формирования квалифицированного специалиста. Способствовать этому процессу призваны учебно-методические комплексы дисциплин, факультативов, практик, методические указания, учебно-методические пособия, разрабатываемые на кафедрах института многоопытным высококвалифицированным профессорско-преподавательским составом [2-13], грамотная организация самостоятельной работы студентов, кружков, семинаров, конференций. Одним из самых важных событий в институте является проведение Всероссийской олимпиады студентов строительных вузов страны по специальности ПСК.

Немаловажную роль в процессе обучения играет развитие **научно-творческих** способностей студентов, заключающееся в формировании у студента желания заниматься наукой, осуществлять обмен знаниями с другими людьми, а самое главное – развивать интеллектуальные способности как умение не только перенимать знания, но и мыслить самостоятельно. С этой целью действует система организации студенческой научно-исследовательской деятельности, одной из составляющей триединого образовательного процесса (учебного, научного и воспитательного) подготовки квалифицированных специалистов, способных творчески решать профессиональные, научные, и социальные задачи, применять в практической деятельности достижения научно-технического прогресса. Научная работа ведется по направлениям, определяемым как приоритетные в РФ, в соответствии с перечнем критических технологий РФ и со стратегией социально-экономического развития Воронежской области. Существующая система получения грантов преподавателями и студентами позволяет проводить исследования на самом высоком уровне. Способствует этому и возможность активно работать на новейшем оборудовании центра коллективного пользования им.проф. Ю.М. Борисова.



Центр коллективного пользования ежедневно проводит испытания и выполняет различные виды анализа материалов по заказу предприятий промышленного и строительного комплексов. Привлечение студентов к выполнению этих работ позволяет проследить проблемы производства, качества продукции, понять направление необходимых научных разработок и печенье умений, требуемых потенциальным работодателем от будущих специалистов, то есть адаптироваться к будущей производственной деятельности.

Основными научными направлениями кафедр института являются:

- проблемы структурного материаловедения и технологии конструкционных, стеновых, отделочных и изоляционных материалов на основе традиционного и техногенного сырья;
- концепция, методология и научно-инженерные решения комплексной и глубокой переработки техногенных продуктов;
- оптимизация и управление технологическими процессами структурообразования строительных материалов;
- проблемы экологизации химико-технологического и строительного производства;
- плазменные процессы;
- научно-практические основы управления химико-технологическими процессами структурообразования и качеством неорганических вяжущих веществ, строительных материалов и изделий;
- физическая, органическая и аналитическая химия строительных материалов, инструментальные методы контроля состава, качества и технико-эксплуатационных свойств компонентов строительных материалов;
- нанотехнологии и наноматериалы.

Работая по этим направлениям под руководством опытного профессорско-преподавательского состава, студенты принимают участие в мероприятиях регионального и международного уровня, публикуют результаты своих исследований в научных журналах разного уровня принимают участие в конкурсах и олимпиадах.

Второй год подряд институт принимает участие во Всероссийском фестивале науки "NAUKA 0+", охват которого - 176 городов.



Участие в ежегодной выставке «Строительство», молодежном форуме «Селигер», конкурсах «Правила роста», «УМНИК», «СТАРТ», «StartUp-поиск» в рамках Зворыкинского проекта, а также мероприятиях при поддержке таких организаций как РОСНАНО, АИР, фонда Сколково, Microsoft способствуют положительной динамике развития научно-инновационных студенческих проектов, а также возможности общения с работодателями.



Студенты проходят стажировки в международных образовательных центрах Франции, Чехии, Германии, Кипра; участвуют в различных молодежных конкурсах, помогающих реализовывать идеи, выработать активную жизненную позицию и развивать лидерские качества.



Студенты института ведут активную спортивную жизнь. На соревнованиях по борьбе, мини-футболу, дзюдо, плаванию, бадминтону, пинг-понгу, баскетболу, волейболу наши студенты неоднократно брали призовые места.



Широкие возможности представлены энтузиастам художественной самодеятельности: «Студенческая весна», «КВН», «Краса ВГАСУ», рок-фестивали. Спектакли на английском, французском и немецком языках, подготавливаемые кафедрой иностранных языков института собирают аншлаги.



Наш институт не единственный, выпускающий специалистов химико-технического профиля, однако один из немногих, способных подготовить квалифицированных специалистов благодаря реализуемой программе тесного научно-производственного взаимодействия института и предприятий промышленно-строительного комплекса.

Мы ждем Вас, абитуриенты 2017 года, а Вас ожидает интересное будущее!

Список литературы

1. Инвестор летит на успех. Петр Образцов газета "Химия" 19 сентября 2016 понедельник № 210 (7078). [Электронный ресурс]. Дата обращения 21.12.2016. (http://www.chemistry-expo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/khimia/doc/chemistry_19_09_expo.pdf)
2. Перцев В.Т., Усачев С.М. Совершенствование технологии вибропрессованных бетонов (монография) Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. Воронеж, 2007. - 143 с.
3. Шмитько Е.И., Славчева Г.С., Акулова И.И., Воронин А.И., Усачев С.М. Управление качеством на предприятиях строительной отрасли (учебное пособие) Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, Воронеж, 2011. - 108 с.
4. Усачев А.М., Усачев С.М. Строительные материалы и изделия. Технология строительных изделий и конструкций (учебное пособие) Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, Воронеж, 2011. - 252 с.
5. Зуев Б.М., Козодаев С.П., Перцев В.Т., Акулова И.И., Усачев С.М. Проектирование смесительных производств (учебно-методическое пособие). Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т

Воронеж, 2011. - 60 с.

6. Усачев А.М., Усачев С.М. Строительные материалы. Учебное пособие. Воронеж, 2016. – 140 с.

7. Усачев А.М., Баранов Е.В. Специальные конструкционные и функциональные строительные материалы. Учебное пособие. Воронеж, 2016. – 244 с.

8. Барсукова Л.Г., Вострикова Г.Ю., Глазков С.С. Физико-химия и технология полимеров, полимерных композитов: учебное пособие. – Воронеж, 2014. – 141 с.

9. Рудаков О.Б., Артамонова О.В., Барсукова Л.И. и др. Вопросы прикладной химии в строительном материаловедении. Учебное пособие. Воронеж, ВГАСУ, 2007, 168 с.

10. Рудаков О.Б., Слепцова О.В., Кукина О.Б. Внедрение современных методов исследования поверхности материалов в учебный процесс. Непрерывное многоуровневое профессиональное образование: традиции и инновации. Ч.2. Информатизация образования. Повышение качества проф. подготовки. Воронеж. ВГАСУ. 2012. с.68-72

11. Кукина О.Б., Слепцова О.В., Хорохордина Е.А., Рудаков О.Б. Аналитическая химия. Учебное пособие. Воронеж, ВГАСУ, 2014. 162 с.

12. Давыдова Е.Г. Рецензия на книгу А.М. Долгоносова, О.Б.Рудакова, И.С. Суровцева, А.Г. Прудковского «Колоночная аналитическая хроматография как объект математического моделирования». Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 1 (8). С. 180.

13. Давыдова Е.Г. Обзор-рецензия монографии Б.Л Павлова, В.Н. Белко, «Теория открытых равновесных систем и её применение в физике». Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 2. С. 128-131.

Давыдова Екатерина Геннадьевна - к.х.н., доц. кафедры химии Воронежского государственного технического университета (ВГАСУ). E-mail: davydova_eg@vgasu.vrn.ru. Тел. 8 (473) 2-71-76-17.

Власов Виктор Васильевич - к.т.н., доцент, директор строительного-технологического института ВГТУ, кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета.

Усачев Сергей Михайлович - к.т.н., к.т.н., доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций ВГТУ. (473) 271-52-35.

Усачев Александр Михайлович – к.т.н., доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций ВГТУ. E-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru. Тел.: (473) 271-52-35.

УДК 691.322:004.421

В.В. Белов, И.В. Образцов

ВИРТУАЛЬНЫЕ ТРЕНАЖЕРЫ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И ОБРАЗОВАНИИ

Освещаются вопросы, связанные с функциональным устройством программ, принципами их разработки, а также эффективным применением виртуальных лабораторий и научно-прикладных приложений в техническом образовании. Показан пример виртуального лабораторного практикума по исследованию свойств самоуплотняющегося бетона – комплексу программ, имитирующих лабораторные испытания бетона в соответствии с европейским стандартом EN 206-9.

Ключевые слова: виртуальная лаборатория, физический процесс, имитационно-численное моделирование, визуализация

V.V. Belov, I.V. Obratsov

VIRTUAL EXERCISE MACHINES IN CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE AND EDUCATION

This article covers the issues connected with functional design and principles of program development as well as effective use of virtual laboratories scientific and educational applications in higher technical education institutions. The article gives the example of virtual laboratory course on the properties of self-compacting concrete – a set of programs that simulate laboratory testing of concrete in accordance with European standard EN 206-9.

Keywords: virtual laboratory, physical process imitation and numerical modeling, visualization

В настоящее время в научных исследованиях и образовании, в производственной и других сферах деятельности человека определяющее значение имеют информационно-вычислительные системы [1]. Развитие информатики и применение компьютеров в научных исследованиях ставят вопрос о пересмотре основных концепций представления научных знаний даже в уже глубоко разработанных и весьма формализованных областях и выдвигают на первый план задачу структурирования этих знаний [2]. Разработка мультимедийных учебно-научных лабораторий и их использование в инженерном образовании являются перспективным направлением в обучении современным высоким технологиям, подготовке высококвалифицированных научных кадров и отраслевых специалистов, а также повышении квалификации инженерно-технических работников и сотрудников предприятий промышленного сектора.

Электронные образовательные ресурсы на основе современной компьютерной трехмерной симуляции физических процессов и явлений реализуются в форме мультимедийных учебно-научных лабораторий или виртуальных тренажеров. Новизна технологии виртуальных тренажеров аргументируется использованием современных средств компьютерного моделирования и активным внедрением информационных технологий в сферу образования как нового трансдисциплинарного направления [3].

Наглядное сравнение различных техник обучения, в том числе имитации реальной деятельности, дает «Конус обучения» профессора государственного университета штата Огайо – Эдгара Дейла, представленный на рис. 1.



Рис. 1. «Конус обучения» Эдгара Дейла (1900-1985)

Внедрение информационных технологий способствует оптимальному решению вышеназванных задач и устранению ряда недостатков традиционного способа обучения. Эти вопросы во всей полноте можно решать с помощью мультимедийных учебно-научных лабораторий, создаваемых на компьютерах [4, 5].

Виртуальный тренажер представляет собой программный комплекс, позволяющий проводить физические опыты на компьютере без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом. В виртуальных тренажерах динамика процессов реализуется посредством компьютерной анимации – комплекса методов отображения каких-либо объектов во времени. Процессы формирования понятий при помощи анализа, сравнения, выделения существенных признаков и других логических операций воспроизводятся специалистом, разрабатывающим анимацию, в образной форме, и интерактивно выводятся на дисплей компьютера в строго определенных последовательностях. Мультимедийная учебно-научная лаборатория, как правило, сочетает в себе имитационную динамическую модель оборудования и программную оболочку, включающую методическое сопровождение лабораторной работы [6, 7]. Динамическая модель формируется из совокупности элементов управления, позволяющих регулировать конкретные входные параметры и считывать выходные параметры опыта, тем самым имитируя протекание физических процессов.

На рис. 2 представлена принципиальная схема процесса обучения с применением виртуального тренажера. Как показано на схеме, компьютерный тренажер включает в себя совокупность программных и аппаратных средств, позволяющих осуществлять процесс обучения без непосредственного взаимодействия человека и реальной лабораторной установки. Аппаратные возможности тренажера – это современный персональный компьютер, оснащенный качественными устройствами ввода/вывода информации. Программные средства – это математически обоснованная виртуальная модель, включающая в себя систему графической визуализации, звуковое сопровождение и текстовую информацию [8]. Ввод и вывод информации осуществляется согласно разработанному алгоритму – программному коду виртуальной модели.



Рис. 2. Учебный процесс с применением виртуального тренажера

Пользователь взаимодействует с программной оболочкой посредством диалоговых окон, образующих графический интерфейс пользователя (GUI). С помощью стандартных элементов управления (кнопки, флажки, переключатели, текстовые поля и т.д.) пользователь устанавливает параметры, открывает/загружает файлы, подтверждает действия программы, имеет возможность получения общей статистики изучения материала и вывода её на печать. Графический интерфейс пользователя наиболее удобно реализовывать в виде многодокументного интерфейса (MDI), включающего родительскую форму, в которой открывается ряд дочерних форм. Дочерние формы образуют систему диалоговых окон, например, диалоговое окно редактора учетных записей, диалоговое окно тестирования и окно вывода таблицы результатов, информационное окно «О программе» и другие. Пример программной оболочки мультимедийной учебно-научной лаборатории, реализованной в виде многодокументного интерфейса, представлен на рис. 3.

На рис. 4 показана сфера применения мультимедийных учебно-научных лабораторий, включающая в себя несколько больших областей.

Виртуальные лабораторные тренажеры позволяют устранить ещё один недостаток традиционного способа обучения – это отдельное проведение лекционных и лабораторных работ, как по времени, так и по теме. В большинстве случаев, лабораторные работы (особенно по естественным дисциплинам) назначаются не с позиции сохранения последовательности изложения тем по лекционным занятиям, а с точки зрения доступности (работоспособности или незанятости) лабораторного стенда. Виртуальные лабораторные работы также можно демонстрировать во время лекции, т.е. в дополнение лекционного материала. При этом достигается не только последовательность изучаемых тем по дисциплине, но устраняется временной барьер между лекционными и лабораторными занятиями, что способствует повышению эффективности и качества обучения.

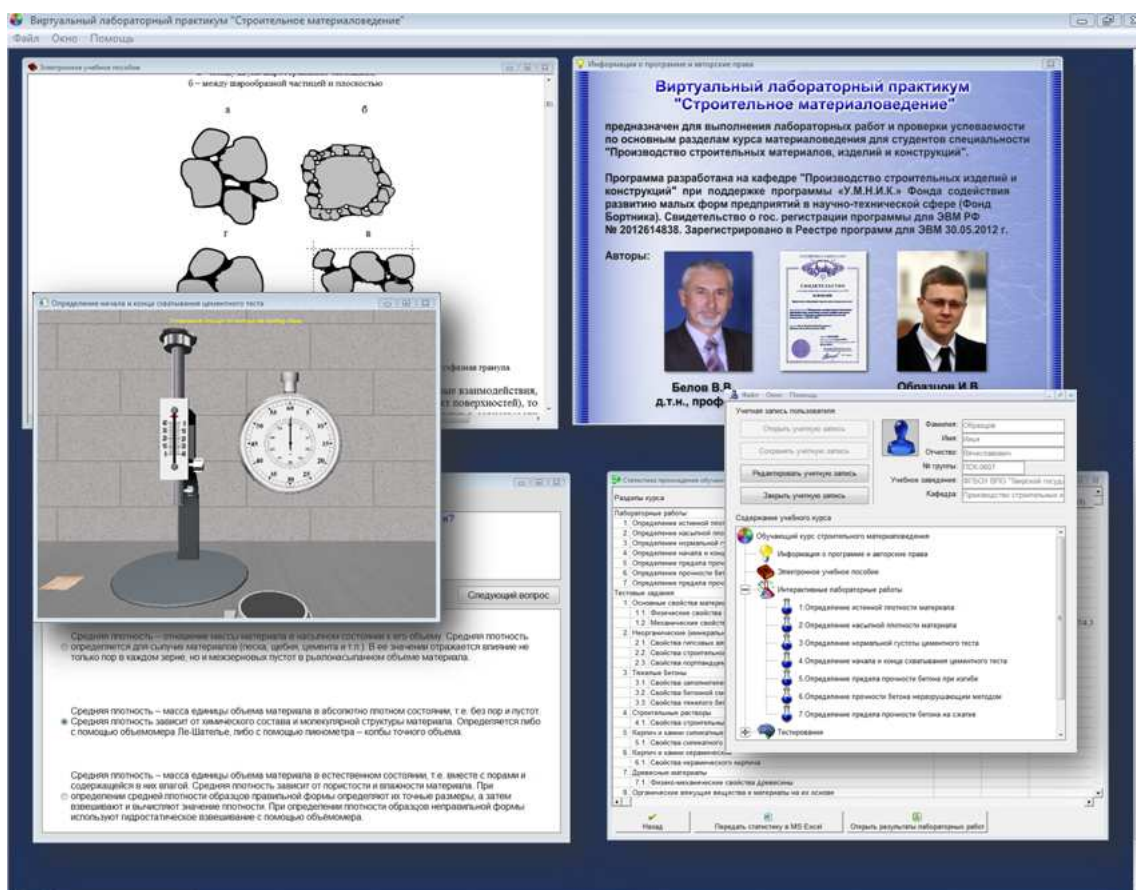


Рис. 3. Пример программной оболочки мультимедийной учебно-научной лаборатории



Рис. 4. Области применения мультимедийных учебно-научных лабораторий

В Тверском государственном техническом университете разработаны и введены в образовательный процесс виртуальные лабораторные практикумы по курсам строительного материаловедения и бетоноведения, самоуплотняющихся бетонов, гидравлики, водоснабжения, а также технологии обработки металлов. Разработанные программные продукты имеют свидетельства об официальной регистрации (РОСПАТЕНТ), полностью соответствуют требованиям отраслевого стандарта Минобразования РФ ОСТ.2-98 «Системы автоматизированного лабораторного практикума» и успешно применяются в учебном процессе, как на базе собственного вуза, так и в других российских учебных заведениях – Новгородском государственном университете, Пензенском государственном университете,

Сибирском государственном индустриальном университете, Донском государственном техническом университете, Костромском технологическом университете, Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова, Тверской сельскохозяйственной академии и других.

Виртуальная лаборатория "Определение свойств самоуплотняющегося бетона", разработанная в 2014 году, предназначена для имитационного выполнения лабораторных испытаний самоуплотняющегося бетона в соответствии с требованиями СТБ EN 206-9. Разработка является интерактивным демонстрационно-тренажерным программным средством и направлена на обучение и повышение квалификации студентов строительных специальностей, инженерно-технических работников и сотрудников предприятий промышленного сектора. На рис. 5 изображен имитационный опыт по исследованию консистенции самоуплотняющейся бетонной смеси с помощью блокировочного кольца.

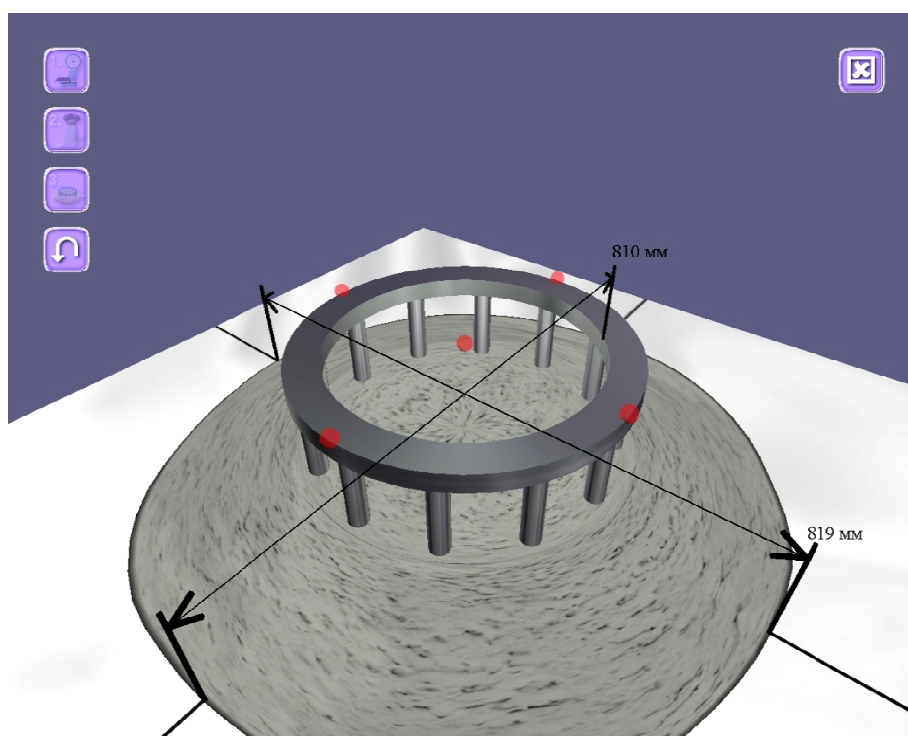


Рис. 5. Имитационный опыт по исследованию консистенции самоуплотняющейся бетонной смеси с помощью блокировочного кольца

Возможности технологии мультимедийных учебно-научных лабораторий позволяют наглядно воспроизводить физические эксперименты любой сложности в технологии строительных материалов, а также в других дисциплинах – от простых химических опытов до сложной автоматизированной токарной обработки металла на современном роботизированном технологическом оборудовании.

Список литературы

1. Белов, М.А. Принципы проектирования виртуальной компьютерной лаборатории на основе технологии облачных вычислений / М.А. Белов, О.Е. Антипов // Сборник трудов международной конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании – 2010». Одесса: УКРНИИМФ, 2010.
2. Колесниченко, Е.Г. Структура естественнонаучного знания с точки зрения создания автоматизированных научных систем / Е.Г. Колесниченко // Препринт № 26-97, М., ИМ МГУ, 1997, 40 с.

3. Лесовик, В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований / В.С. Лесовик // Высшее образование в России. 2014. № 3. С.77-83.
4. Соловов, А.В. Виртуальные учебные лаборатории в инженерном образовании / А.В. Соловов // Сборник статей «Индустрия образования». Выпуск 2. - М.: МГИУ, 2002. С.386-392.
5. Норенков, И.П. Информационные технологии в образовании / И.П. Норенков, А.М. Зимин // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 352 с.
6. Белов, В.В. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач / В.В. Белов, И.В. Образцов, В.К. Иванов, Е.Н. Коноплев. Тверь, Тверской государственный технический университет, 2015. 108 с.
7. Белов, В.В. Компьютерное моделирование и оптимизирование составов композиционных строительных материалов / В.В. Белов, В.Т. Ерофеев, И.В. Образцов и др. М., Издательство АСВ, 2015. 264 с.
8. Афанасьев, В.О. Исследования и разработка системы интерактивного наблюдения индуцированной виртуальной среды (системы виртуального присутствия) / В.О. Афанасьев, А.Г. Бровкин // Космонавтика и ракетостроение. 2001. № 20.
9. Колганов, Д.А. Нереальная физика. Тестирование NVIDIA PhysX на конфигурации SLI Multi-Card / Д.А. Колганов // Игромания. Февраль. 2010. С. 162-164.
10. Zhang, G. Precise algorithm to generate random sequential addition of hard hyperspheres at saturation / G. Zhang, S. Torquato // Physical review, E 88. 2013. pp.053312-1-9.

Белов Владимир Владимирович: ТвГТУ, проректор по инновационному развитию, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, E-mail: vladim-bel@yandex.ru.

Образцов Илья Вячеславович: ТвГТУ, инженер Центра электронных образовательных ресурсов, E-mail: sunspire@list.ru. Тел. каф. ПСК – (4822)78-81-55

УДК 691.17

А.М. Усачев, А.М. Хорохордин, А.В. Данилова

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РЫНКА СТАЛЬНОЙ И КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

Приведены сравнительные характеристики стальной и композитной арматуры. Проведено изучение рынка арматуры в РФ с целью оценки его перспектив развития.

Ключевые слова: *стальная арматура, композитная арматура, свойства арматуры, сравнительные характеристики.*

A.M. Usachev, A.M. Khorokhordin, A.V. Danilova

THE ANALYSIS OF PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF MARKET OF STEEL ACOMPOSITE REBAR

The comparative characteristics of steel and composite reinforcement. Studied the rebar market in Russia to assess its development prospects.

Keywords: *steel reinforcement, composite rebar, reinforcement properties, comparative characteristics.*

Введение. Основным конструкционным материалом современного строительства является бетон и железобетон. Для повышения прочности бетона на растяжение при изгибе применяют арматуру. Еще с древних времен строители упрочняли различные строительные изделия и конструкции. Например, в Древнем Вавилоне строения из глины армировали тростником и плетеными прутьями. Различные вариации глины и «растительной арматуры» издавна применялись во всем мире: и в монолитных сооружениях Востока, и для изготовления египетских глиняных кирпичей, армированных соломой, и в керамических изделиях инков и майя. У английских строителей, например, был старый обычай добавлять в штукатурный раствор немного бычьего волоса. Железо в качестве строительной арматуры впервые стали применять греки.

Широкий набор характеристик, удобство и универсальность использования арматуры позволяют использовать конструкции с ее применением в промышленном, жилом и сельскохозяйственном строительстве, дорожном и аэродромном хозяйстве, а также при возведении сооружений спортивного, коммерческого и развлекательного назначения.

В зависимости от материала всю арматуру можно разделить на стальную и композитную.

Стальная арматура предназначена для обычного и предварительно напряженного армирования железобетонных конструкций [1, 2]. Для этих целей применяют главным образом углеродистые и низколегированные стали. Арматурную сталь классифицируют по технологии изготовления, профилю стержней и условиям применения. По технологии изготовления арматурная сталь бывает горячекатаной стержневой и холоднотянутой проволочной. В зависимости от профиля стержней арматуру делят на гладкую и периодического профиля. По условиям применения в конструкциях стальная арматура делится на ненапрягаемую и напрягаемую.

При проектировании железобетонных конструкций стальную арматуру выбирают в зависимости от ее назначения, марки и вида бетона, свариваемости сталей, условий эксплуатации, характера нагружения и т.д.

Арматурные стали должны обладать достаточной пластичностью, что важно при условиях работы конструкции под нагрузкой, а также при заготовке арматуры. Арматурная сталь также не должна снижать механических свойств при сварке.

Композитная арматура начала применяться в строительстве в середине XX века. Первая причина разработки и использования данного материала – низкая коррозионная стойкость стальной арматуры. Вторая причина – возникновение необходимости в диэлектрических и антимагнитных свойствах арматуры, которые присущи композитной арматуре. Ещё один повод, послуживший поиску нового материала – потребность в экономии металлов.

Полимерную композитную арматуру получают на основе щелочестойкого волокна (армирующего материала) диаметром 10...15 мкм и различных полимеров или смол (связующего) [3].

Применяют композитную арматуру для армирования обычных и предварительно напряженных строительных конструкций и элементов, эксплуатируемых в средах с различной степенью агрессивного воздействия (хлористые соли, газовая среда, морская вода, противогололедные реагенты), подверженных влиянию магнитных волн и др. [4].

Сравнительные характеристики стальной и композитной арматуры. Откровенно говоря, еще несколько десятков лет назад альтернативы стальной арматуре для армирования не было. Сегодня, благодаря новейшим методам технологий, налажен выпуск нового армирующего материала – композитной полимерной арматуры, которая является главным конкурентом стальной арматуре.

Какую же арматуру лучше выбрать для армирования строительных конструкций? Безусловно, каждый материал имеет свои достоинства и недостатки. Для того чтобы определиться с выбором, рассмотрим, какими характеристиками обладают стальная и композитная арматура. Так, стальная арматура выдерживает большие нагрузки, допускает сварку стержней, обладает электропроводностью, что важно для прогрева бетонных конструкций в зимнее время. Однако, имеет высокую среднюю плотность и подвержена коррозии.

Композитная арматура, в отличие от стальной, устойчива к коррозии, менее теплопроводна, весит меньше в 4 раза (табл. 1), не проводит электрический ток, не создает помех радиоволнам, обладает высокой прочностью (табл. 2).

Таблица 1

Сравнительные характеристики веса стальной и композитной арматуры

Диаметр арматуры, мм	Вес погонного метра, г		Коэффициент (АС/АК)
	Арматура композитная (АК)	Арматура стальная (АС)	
4	25	100	4
5	38	160	4,2
8	110	430	3,91
10	170	620	3,65
12	235	910	3,87

Таблица 2

Соответствия диаметров стальной и композитной арматуры по прочности

Диаметр композитной арматуры, мм	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Диаметр стальной арматуры, мм	6	8	12	14	16	18	20	22	25

Однако, не смотря на многочисленные положительные свойства, у композитной арматуры отсутствуют пластические деформации при растяжении и низкая температура эксплуатации (не более 200 °С). К тому же композитную арматуру невозможно сгибать и сваривать. Существенным недостатком полимерной арматуры является отсутствие нормативной документации на монтаж, методику расчета и конструирования композитобетонных конструкций и др.

В Центре коллективного пользования имени проф. Ю.М. Борисова Воронежского ГАСУ были проведены сравнительные испытания на прочность при растяжении нескольких образцов стальной и композитной арматуры в соответствии с требованиями нормативной документации. Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Экспериментальные данные по оценке основных характеристик стальной и композитной арматуры

Основные характеристики	Арматура			
	Стальная		Композитная	
	A400 d=12 мм	A500 d=12 мм	AK d=6 мм	AK d=10 мм
Предел текучести, МПа	563,9	694,2	-	-
Максимальная нагрузка, кН	71,6	86,5	30,6	70,9
Нагрузка при разрушении, кН	42,8	59,4	30,6	70,9
Временное сопротивление, МПа	633,1	770,0	1081,7	903,6
Модуль упругости, ГПа	190,2	200,1	40,3	34,9
Относительное удлинение после разрыва, %	10,7	8,3	2,9	3,1

Отмечаем тот факт, что композитная арматура по прочности на растяжение значительно превосходит традиционную стальную. Однако надо учитывать, что композитная арматура не имеет предела текучести и имеет хрупкий характер разрушения, с небольшой величиной относительной деформации.

Обобщающие сравнительные характеристики стальной и композитной (стеклопластиковой и базальтопластиковой) арматуры представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная оценка арматуры изготовленной из различных материалов

Характеристики	Стальная арматура класса А-III (А400С)	Композиционная полимерная арматура	
		стеклопластиковая	базальтопластиковая
Внешний вид	Однородный пруток, серебристого цвета, без пустот	Однородный пруток, бежевого цвета, без пустот	Однородный пруток, черного цвета, без пустот
Предел прочности при растяжении (временное сопротивление), МПа	390	700...900	800...1200
Относительное удлинение после разрыва, %	14,0	2,2	3,0

Средняя плотность, кг/м ³	7850	2020	1900
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	58	0,5	0,3
Коэффициент термического расширения, 10 ⁻⁶ /°С	11,7	6,0...20,0	6,0...20,0
Диапазон рабочих температур, °С		-60...+650	-260...+982
Модуль упругости, ГПа	200...210	15...30	30...40
Водопоглощение, %	0	0,05	0,05

Справочные данные, представленные в табл. 4, соотносятся с экспериментальными результатами (табл. 3).

В табл. 5 приведены основные производители арматуры в нашей стране.

Таблица 5

Основные производители арматуры в России

Наименование предприятия	Местоположение	Номенклатура продукции
Стальная арматура		
Нижнесергинский метизно-металлургический завод (НСММЗ)	Урал	Диаметр 8...40 мм
Магнитогорский металлургический комбинат (ММК)	г. Магнитогорск	Диаметр 6...40 мм
ОАО «Челябинский металлургический завод»	г. Челябинск	Диаметр 6...12 мм
Череповецкий металлургический завод «Северсталь»	г. Череповец	Диаметр 6...40 мм
Композитная арматура		
«Бийский завод стеклопластиков»	г. Бийск	По заказу
ООО «СЗС»	Ступино	Диаметр 6...20 мм
ОАО «Гален»	г. Чебоксары	Диаметр 2,5...32 мм
ООО НПК «Армастэк»	г. Липецк	Диаметр 6...20 мм
ООО «Воронежский завод композитных материалов»	г. Воронеж	Диаметр 4...20 мм

Анализируя данные табл. 5, отмечаем тот факт, что за последнее время в нашей стране к производителям традиционной стальной арматуры добавились предприятия по производству композитной арматуры, что подтверждает достаточно высокий спрос на

данную продукцию.

Выводы. В ходе изучения состояния рынка и дальнейших прогнозов его развития можно сделать следующие выводы:

1. Повсеместно заменить стальную арматуру в железобетонных конструкциях на композитную невозможно. В некоторых сферах строительства стальная арматура по-прежнему будет играть ключевую роль.

2. Композитная арматура набирает обороты и достаточно широко применяется в отдельных областях строительства.

3. Использование композитной арматуры наиболее целесообразно и эффективно только в тех случаях, когда проявляются ее положительные свойства. Речь в первую очередь идет о химической стойкости, радиопрозрачности и диэлектрических свойствах.

Список литературы

1. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия.
2. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
3. ГОСТ 31938-2012. Арматура композиционная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 42 с.
4. Усачев А.М., Хорохордин А.М., Абдурашидов М.М. Оценка механических свойств полимерной композиционной арматуры / Научный вестник Воронежского ГАСУ. Серия: физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения, Выпуск № 1(8), 2014. С.16-20.
5. Фролов Н. П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1980. - 104 с.

Усачев Александр Михайлович – к.т.н., доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций ФГБОУ ВО «ВГТУ». E-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru. Тел.: (473) 271-52-35.

Хорохордин Алексей Митрофанович – аспирант кафедры химии ФГБОУ ВО «ВГТУ».

Данилова Алина Владимировна – магистрант направления «Маркетинг строительных материалов, изделий и конструкций», института магистратуры ФГБОУ ВО «ВГТУ».

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Артамонова О.В., Кретинина В.Н., Мягих К.С., Гущина Е.Ю. Определение вязкости цементного теста при наномодифицировании комплексными добавками.	3
Ярцев В.П., Репина Е.И., Соуди Небрас И.Ю., Шеверда В.В. Влияние наполнителей из промышленных отходов на прочность и долговечность мелкозернистых бетонов	8
Лукин А.А., Тарханов А.К., Лукин О.А. Исследование структуры и механических свойств конструкционной легированной стали 18ХГТ.	12

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Мионов В.А., Белов В.В., Куляев П.В. Применение ультразвукового воздействия для ускорения структурообразования цементных композитов.	16
Кукина О.Б., Глазков С.С., Загородных К.С. Синтез стабилизатора с наноразмерными частицами и влияние их на свойства цементогрунта	20
Моргун Л.В., Виснап А.В., Моргун В.Н. Влияние расхода и длины фибры на эффективность сцепления стуклопластиковой арматуры с фибропенобетоном.	25

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Тутов Е.А., Голощанов Д.Л., Артамонова О.В. Сорбционно-емкостные характеристики конденсаторных структур с диэлектриком на основе поверхностно-модифицированного портландцемента	30
---	----

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Хорохордин А.М. Проблемы контроля безопасности строительных материалов.	37
---	----

ПОЖАРНАЯ, АВАРИЙНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Жидко Е.А., Муштенко В.С. Рекомендации по путям решения проблемы глобальной оптимизации в социально-эколого-экономическом аспекте	54
---	----

ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Манохин М.В., Сазонова С.А., Николенко С.Д., Манохин В.Я. Разработка конструктивных решений по охране труда обеспечивающих обеспыливание выбросов на асфальтобетонных заводах	60
Николенко С.Д., Сазонова С.А., Манохин М.В. Защита атмосферного воздуха с целью обеспечения безопасных условий труда на асфальтобетонных заводах.	66
Манохин М.В., Николенко С.Д., Сазонова С.А., Манохин В.Я. Безопасность труда в технологическом процесса "горячего" приготовления асфальтобетона.	76
Сазонова С.А., Николенко С.Д., Манохин М.В. Создание безопасных условий труда на асфальтобетонных заводах.	83
Манохин М.В., Сазонова С.А., Николенко С.Д. Экономическая эффективность мероприятий по безопасности труда в технологическом процессе "горячего" приготовления асфальтобетона.	89

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Трещёв А.А., Спасская М.В. Математическая модель несвязанной термомеханической задачи для полой сферической оболочки из анизотропных разносопротивляющихся материалов.	94
--	----

Павлов Б.Л., Никишина А.И., Давыдова Е.Г. Двухкомпонентная модель вырожденного идеального электронного газа.	100
---	-----

ОБРАЗОВАНИЕ И ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Давыдова Е.Г., Власов В.В., Усачев С.М., Усачев А.М. Химия, технология и Материаловедение. Особенности обучения в строительном-технологическом институте ВГТУ.	109
---	-----

Белов В.В., Образцов И.В. Виртуальные тренажеры в строительном материаловедении и образовании.	116
---	-----

Усачев А.М., Хорохордин А.М., Данилова А.В. Анализ перспектив развития рынка стальной и композитной арматуры.	122
--	-----

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

Воронежского государственного архитектурно-строительного
университета

**Серия «Физико-химические проблемы
и высокие технологии строительного материаловедения»
2016, выпуск 2 (13)**

Научный журнал

Печатается в авторской редакции

*Подписано в печать. 26.12.2016. Формат 60x84 1/8. Уч. - изд. 16,0 л. Усл. - печ. л. 16,1 .
Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ №*

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы и
учебно-методических пособий ВГТУ
394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84