

ТЕХНОЛОГИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ ЗОЛ В ЦЕМЕНТОБЕТОНЕ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЯХЕВИЧ Г. Д., канд. экон. наук, доц. ЛЯХЕВИЧ А. Г.,
асп. ОРТНЕР Д. В.*

Белорусский национальный технический университет

E-mail: lfidi@hotmail.com

Одним из основных путей улучшения физико-механических свойств цементобетона является введение в бетонную смесь зол от сжигания твердого топлива. Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большую прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к сульфатной коррозии. Изучены возможность использования торфяных зол и шлака торфяных предприятий Республики Беларусь в бетоне с улучшением его физико-механических свойств, а также характеристики торфяных зол, шлака, микрокремнезема, цемента, суперпластификатора. Разработаны составы, технология приготовления бетонных смесей, изготовлены и испытаны образцы бетонов. Показано, что бетоны, содержащие золу, шлак, полученные от сжигания торфа на промышленных установках Усяжского и Лидского ТБЗ, а также микрокремнезем МК-85 и суперпластификатор НСПКСАУсФ-1, имеют предел прочности бетона при осевом сжатии 78–134 МПа, а для контрольного состава – 53 МПа. Данный показатель в 1,5–2,5 раза больше, чем для образца, не содержащего добавки.

Использование торфяных зол и шлака совместно с МК-85 и НСПКСАУсФ-1 для производства бетонных и железобетонных конструкций мостов и тоннелей обеспечит следующие преимущества: уменьшение поперечного сечения конструкций при сохранении их несущей способности благодаря более высокому значению предела прочности при осевом сжатии; более высокая плотность, водо- и газонепроницаемость за счет низкого водоцементного отношения; повышенную стойкость к агрессивной окружающей среде за счет более низкого содержания капиллярных пор, что и обеспечит долговечность мостовых конструкций; достижение экологического и социального эффектов.

Ключевые слова: торфяная зола, шлак, смеси, цементобетон, физико-механические свойства, эффективность использования, бетонные и железобетонные конструкции.

Табл. 5. Библиогр.: 44 назв.

TECHNOLOGY AND EFFICIENCY OF PEAT ASH USAGE IN CEMENT CONCRETE

LIAKHEVICH G. D., LIAKHEVICH A. G., ORTNER D. V.

Belarusian National Technical University

One of the main ways to improve physical and mechanical properties of cement concrete is an introduction of ash obtained due to burning of fossil fuels into concrete mix. The concrete mixes with ash are characterized by high cohesion, less water gain and disintegration. At the same time the concrete has high strength, density, water resistance, resistance to sulfate corrosion. The aim of this paper is to explore the possibility to use peat ash and slag of peat enterprises of the Republic of Belarus in the concrete for improvement of its physical and mechanical properties and characteristics of peat ash, slag, micro-silica, cement, superplasticizing agent. Compositions and technology for preparation of concrete mixes have been developed and concrete samples have been fabricated and tested in the paper. It has been shown that the concrete containing ash, slag obtained due to burning of peat in the industrial installations of the Usiazhsky and Lidsky Peat Briquette Plants and also МК-85-grade micro-silica NSPKSAUsF-1-grade superplasticizing agent have concrete tensile strength within 78–134 МПа under axial compression and 53 МПа – for the control composition. This index is 1.5–2.5 times more than for the sample containing no additives.

The usage of peat ash, slag together with МК-85-grade micro-silica and NSPKSAUsF-1-grade superplasticizing agent for fabrication of concrete and reinforced bridge and tunnel structures will provide the following advantages: reduction of cross-sectional area of structures while maintaining their bearing capacity due to higher value of tensile strength in case of axial compression; higher density, water- and gas tightness due to low water cement ratio; high resistance to aggressive environment due to lower content of capillary pores that ensures bridge structure longevity; achievement of environmental and social impacts.

Keywords: peat ash, slag, mixes, cement concrete, physical and mechanical properties, efficiency of usage, concrete and reinforced structures.

Tab. 5. Ref.: 44 titles.

Введение. Прогноз развития промышленности бетона предусматривает сохранение его в качестве основного строительного материала. Разрушение бетона в сооружениях, особенно при воздействии агрессивных сред, часто начинается через 20–30 лет их эксплуатации, хотя проектируемая долговечность сооружений должна превышать 50 лет. Одним из основных путей улучшения физико-механических свойств цементобетона является введение в бетонную смесь зол от сжигания твердого топлива. Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большие прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к сульфатной коррозии. Существенный вклад в технологию использования зол в бетонных смесях, в механизм взаимодействия высокодисперсных наполнителей – зол с цементным камнем, – в установление роли и влияния зол на физико-механические свойства бетона внесли ученые и практики И. А. Рыбьев, А. В. Волженский, В. В. Бабков, И. Ш. Каримов, В. С. Рамачандран, А. Г. Ольгинский, С. С. Каприелов, Ж. А. Ларби, Л. Опоски, Ж. М. Бижен, В. К. Власов, Ю. С. Буров, В. Е. Крекшин, И. М. Красный, М. С. Шендипа, В. А. Выров, А. Г. Комар, А. Г. Зоткин, И. Ю. Данилович, Е. Е. Бери, В. М. Мальхотра, Ю. М. Баженов, К. В. Михайлов, И. А. Иванов, В. С. Колокольников, В. В. Костин, В. И. Соломатов, Н. Б. Урьев, С. И. Павленко, В. М. Селиванов, А. Т. Логвиненко, М. А. Савинкина, Г. И. Овчаренко, Л. Г. Плотникова, В. Б. Францен, В. И. Соломатов, М. Ю. Лещинский, Б. М. Галлеев, В. М. Масютин, П. Г. Комохов, Н. М. Владимирова, Л. Н. Попов, В. Ш. Каланадзе, С. А. Высоцкий, Ю. П. Рябошапка, Г. С. Меренцова, В. В. Стольников и др. [1–43].

По современным представлениям, прочность бетонов с добавкой золы зависит от толщины затронутого химическими процессами поверхностного слоя зольной частицы. Положительному влиянию золы на структурообразование бетона способствует эффект мелких порошков, расширяющих свободное пространство, в котором осаждаются продукты гидратации, что ускоряет процесс твердения цемента. Микронаполняющий эффект проявляется при увеличении объемной концентрации тонкодис-

персного наполнителя, приводящей к снижению пористости цементного камня в бетоне. Факторы положительного влияния высокодисперсной золы и микрокремнезема на структуру и физико-механические характеристики цементных композиций таковы: снижение общей пористости цементного камня в бетоне при увеличении объемной концентрации и дисперсности наполнителя; повышение пуццоланической активности наполнителя при его тонком измельчении; ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем с частицами наполнителя, служащими центрами кристаллизации; образование кластеров «вяжущее – наполнитель» за счет высокой поверхностной энергии частиц наполнителя; упрочнение контактной зоны между цементным камнем и заполнителями в бетонах.

Существует много составов бетонов, содержащих в качестве добавок различные золы. Качественные, экологические и экономические показатели, а также энергоемкость их производства не соответствуют современным требованиям. А это диктует необходимость создания новых составов и технологий для приготовления бетонов с показателями, превосходящими известные. Выбор оптимального состава цементобетона при использовании зол от сжигания твердого топлива и других добавок требует научного исследования бетона и экспериментальной проверки его качества.

Цель исследования – определить возможность использования торфяных зол и шлака в бетоне с улучшением его физико-механических свойств. Задачи исследования – изучить характеристики торфяных зол, шлака, микрокремнезема, цемента, суперпластификатора, бетонных смесей. Разработать составы, технологию приготовления бетонных смесей, изготовить и испытать образцы бетонов. Показать эффективность использования торфяных зол, шлаков совместно с другими добавками для производства бетонных и железобетонных конструкций мостового и тоннельного строительства.

Характеристика и активность зол и шлаков, полученных при сжигании торфа на промышленных предприятиях Беларуси. Физико-химическая характеристика торфяных зол и шлака. Строение и состав зол зависят от

целого комплекса одновременно действующих факторов: вида и морфологических особенностей сжигаемого топлива, тонкости помола в процессе его подготовки, зольности топлива, химического состава его минеральной части, температуры в зоне горения, времени пребывания частиц в этой зоне и др. Промышленные образцы зол и шлака, полученные на Усяжском и Лидском ТБЗ, подсушивали при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, подвергали помолу в шаровой мельнице, а затем испытывали. Результаты испытаний физико-химических свойств торфяных зол и шлака представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Физические свойства зол и шлака

Физическое свойство	Показатель золы и шлака, отобранных с промышленных предприятий Беларуси		
	Зола Усяжского ТБЗ	Зола Лидского ТБЗ	Шлак Лидского ТБЗ
Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	2201	2246	2183
Насыпная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	731	728	742
Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	3157	3209	3164
Влажность, мас. %	0,42	0,36	0,58

Таблица 2

Химический состав зол и шлака, полученных при сжигании торфа на промышленных предприятиях Беларуси

Наименование оксидов и потери при прокаливании (ППП)	Химический состав торфяных зол и шлака, мас. %		
	Зола Усяжского ТБЗ	Зола Лидского ТБЗ	Шлак Лидского ТБЗ
SiO_2	42,68	34,99	56,75
Al_2O_3	6,94	7,60	11,53
Fe_2O_3	15,49	10,65	7,29
CaO	24,88	39,01	19,87
MgO	0,91	2,12	1,06
SO_3	4,00	0,61	0,19
Na_2O	0,62	0,44	0,69
P_2O_5	1,70	1,13	0,64
MnO_2	–	0,18	0,07
TiO_2	0,38	0,47	0,66
K_2O	1,36	0,94	1,21
ППП	1,04	1,86	0,04

Активность торфяных зол и шлака. Основным критерием, определяющим способность золы проявлять вяжущие свойства, явля-

ется наличие кальция в свободном или связанном виде. Наряду с этим используются следующие критерии [2–4]:

- модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o , который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) : (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3); \quad (1)$$

- силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = \text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3); \quad (2)$$

- коэффициент качества K , показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность, к оксидам, снижающим ее:

$$K = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) : (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2). \quad (3)$$

Результаты расчетов M_o , M_c и K показали, что золы, полученные при сжигании торфа на Усяжском ТБЗ, относятся к скрыто активным золошлаковым материалам и требуют интенсификации твердения; золы, полученные на Лидском ТБЗ, – к активным золошлаковым материалам и не требуют интенсификации твердения; шлак, полученный на Лидском ТБЗ, – к скрыто активным золошлаковым материалам и требует интенсификации твердения.

Влияние количества торфяных зол и шлака на физико-механические свойства бетонов. Характеристика исходных материалов. Для решения поставленной задачи были использованы:

- цемент марки М-500 ОАО «Красносельскстройматериалы» ПЦ-Д0 с тонкостью помола 96,5 %, истинной плотностью $3,1072 \text{ г}/\text{см}^3$, величиной удельной поверхности $3406 \text{ см}^2/\text{г}$, активностью 51,4 МПа;

- кварцевый песок для строительных работ, ГОСТ 8736, с модулем крупности $M_k = 2,14$;

- торфяные золы и шлак Лидского и Усяжского ТБЗ (Республика Беларусь); физические свойства и химический состав их представлены в табл. 1, 2;

- суперпластификатор – натриевая соль продукта конденсации сульфоксидата арома-

тических углеводородов с формальдегидом (тип 1 (НСПКСАУсФ-1)) и нейтрализации гидроокисью натрия. Характеристики НСПКСАУсФ-1: массовая доля сухих веществ – 62,9 %, плотность при 20 °С – 1,2761 г/см³, показатель активности водородных ионов – 8,24;

- щебень с максимальной крупностью зерен до 20 мм. Физико-механические свойства щебня: плотность 2692 кг/м³, влажность 0,16 мас. %, содержание глинистых и пылеватых частиц 0,12 мас. %, марка щебня 1200, соответствует ГОСТ 8267;

- микрокремнезем марки МК-85 (ТУ5743-048-02495332);

- для затворения бетонных смесей применяли водопроводную воду, которая отвечала требованиям СТБ 1114.

Технология приготовления бетонных смесей. Торфяные золы и шлак подвергали помолу в мельнице, затем вводили цемент, микрокремнезем МК-85, суперпластификатор НСПКСАУсФ-1 и смесь домальывали до получения высокодисперсной массы. В мешалку вводили мелкий и крупный заполнители, смесь диспергированных золы (шлака), микрокремнезема, суперпластификатора НСПКСАУсФ-1, цемента. Содержимое перемешивали, добавляли расчетное количество воды и размешивали до получения однородной массы. Полученной смесью заполняли формы и после отверждения образцы бетона испытывали.

Составы и физико-механические свойства бетонов. Составы бетонных смесей и физико-механические показатели бетонов, содержащих торфяные золы и шлак торфопредприятий Беларуси, приведены в табл. 3–5.

Определение плотности, водопоглощения, водонепроницаемости, предела прочности при осевом сжатии бетонов проводили по ГОСТ 12730.0–78 и ГОСТ 12730.5–78. Водопоглощение определяли испытанием образцов бетона по ГОСТ 12730.3–78, водонепроницаемость бетона – по ГОСТ 12730.5–78 ускоренным методом по его воздухопроницаемости. Для проведения испытаний использовали устройство типа «Агама-2Р», в котором герметизирующая мастика удовлетворяла требованиям ГОСТ 14791.

Анализ данных табл. 3–5 (составы 2–6) показывает, что предел прочности бетона при осевом сжатии составляет 78–134 МПа, а для

контрольного состава – 53 МПа, т. е. этот показатель в 1,5–2,5 раза больше, чем для контрольного образца. Водонепроницаемость бетонов, полученных по составам 2–6, лучше, чем у контрольного образца. Так, марки по водонепроницаемости заявляемых бетонов были W8–W20 против W4 для контрольного образца, не содержащего добавки.

Таблица 3

Составы бетонных смесей и физико-механические показатели бетонов, содержащих торфяную золу Усяжского ТБЗ

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Состав бетонной смеси, мас. %						
Щебень	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
песок	20,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Цемент ПЦ-500	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Вода	10,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Добавка, % от массы цемента						
Зола	–	2	6	8	12	14
Микрокремнезем МК-85	–	10	6	4	2	2
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	–	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Физико-механический показатель образцов бетона						
Плотность, кг/м ³	2242	2329	2341	2345	2347	2349
Предел прочности при осевом сжатии, МПа	53	123	116	98	89	81
Водопоглощение, %	3,4	2,0	2,1	2,1	2,4	2,5
Марка по водонепроницаемости	W4	W20	W18	W16	W14	W10

Таблица 4

Составы бетонных смесей и физико-механические показатели бетонов, содержащих торфяную золу Лидского ТБЗ

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Состав бетонной смеси, мас. %						
Щебень	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
Песок	20,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Цемент ПЦ-500	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Вода	10,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Добавка, % от массы цемента						
Зола	–	2	6	8	12	14
Микрокремнезем МК-85	–	10	6	4	2	2
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	–	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Физико-механический показатель образцов бетона						
Плотность, кг/м ³	2242	2331	2343	2346	2348	23450
Предел прочности при осевом сжатии, МПа	53	134	128	107	95	86
Водопоглощение, %	3,4	1,8	1,8	1,9	2,1	2,3
Марка по водонепроницаемости	W4	W24	W20	W18	W16	W12

Таблица 5

Составы бетонных смесей
и физико-механические показатели бетонов,
содержащих шлак Лидского ТБЗ

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Состав бетонной смеси, мас. %						
Щебень	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4	49,4
Песок	20,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Цемент ПЦ-500	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Вода	10,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Добавка, % от массы цемента						
Шлак	–	2	6	8	12	14
Микрокремнезем МК-85	–	10	6	4	2	2
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	–	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Физико-механические показатели образцов бетона						
Плотность, кг/м ³	2242	2328	2337	2342	2346	2348
Предел прочности при осевом сжатии, МПа	53	118	112	91	84	78
Водопоглощение, %	3,4	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7
Марка по водонепроницаемости	W4	W18	W18	W14	W12	W8

Таким образом, бетонные смеси, содержащие золы и шлак, полученные от сжигания торфа на промышленных установках Усяжского и Лидского ТБЗ, а также микрокремнезем МК-85 и суперпластификатор НСПКСАУсФ-1, имеют существенные преимущества перед известным контрольным составом 1 (табл. 3–5). Разработанные высокопрочные бетоны найдут широкое применение при изготовлении ответственных мостовых и тоннельных конструкций и др.

ВЫВОДЫ

Использование торфяных зол и шлака совместно с микрокремнеземом МК-85 и суперпластификатором НСПКСАУсФ-1 для производства бетонных и железобетонных конструкций мостов и тоннелей обеспечит следующие преимущества:

- уменьшение поперечного сечения конструкций при сохранении их несущей способности благодаря более высокому значению предела прочности при осевом сжатии;

- более высокие плотность, водо- и газонепроницаемость за счет низкого водоцементного отношения;

- повышенную стойкость к агрессивной окружающей среде за счет более низкого содержания капиллярных пор, что и обеспечит долговечность мостовых конструкций;

- уменьшение поперечного сечения конструкций и их массы, что сократит расходы на транспортировку и монтаж конструкций;

- более высокую начальную прочность и раннюю распалубку и предварительное обжатие, что сократит сроки ввода в эксплуатацию сооружения;

- при использовании только 10000 т/год торфяной золы взамен части цемента в составе бетона экономический эффект составит, по предварительным оценкам, более 200000 у. е.;

- достижение экологического и социального эффектов.

В перспективе произойдет постепенное замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными. В таких бетонах будут использоваться высокодисперсные золы от сжигания твердого топлива, добавки различного функционального назначения, улучшающие удобоукладываемость бетонных смесей и обеспечивающие получение высокопрочных бетонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Геополимербетон** с золой уноса [Электрон. ресурс] / Строительный мир. – Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru/d19dr5492m2.html>. – Дата доступа: 11.01.2006.
2. **Волженский, А. В.** Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 247 с.
3. **Урьев, Н. Б.** Высококонцентрированные дисперсные системы / Н. Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
4. **Рыбьев, И. А.** Создание строительных материалов с заданными свойствами / И. А. Рыбьев, А. А. Жданов // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 3. – С. 45–48.
5. **Баженов, Ю. М.** Развитие теории формирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами / Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, В. В. Воронин // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 7. – С. 55–58.
6. **Баженов, Ю. М.** Технология бетонных и железобетонных изделий: учеб. / Ю. М. Баженов, А. Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 290–293.
7. **Добавки в бетон:** справ. пособие / В. С. Рамачандран [и др.]; под ред. В. С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 168–184.
8. **Власов, В. К.** Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками /

В. К. Власов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 4. – С. 10–12.

9. **Власов, В. К.** Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя / В. К. Власов // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9–11.

10. **Высоцкий, С. А.** Минеральные добавки для бетонов / С. А. Высоцкий // Бетон и железобетон. – 1994. – № 2. – С. 7–10.

11. **Bastian, S.** Wodoszczelnosc Betonow z Popiolor Lotnych / S. Bastian // Przegląd Budowlany. – 1971. – No 6. – P. 319–329.

12. **Bendz Dale, P.** Simulation Studies of the Effects of Mineral Admixtures on the Cement Paste-Aggregate Interfacial Zone / P. Bendz Dale, J. Garfodzi Edward // ACI Materials Journal. – 1991. – Vol. 88, No 8. – P. 518–529.

13. **Berry, E. E.** Fly Ash for Use in Concrete – A Critical Review / E. E. Berry, V. M. Malhotra // ACI Journal. – 1980. – Vol. 77, No 2. – P. 59–73.

14. **Composite** Cementless Binder from Mechanical Active Industrial Wastes Text / Yu. M. Bazhenov [et al.] // Proceedings of the 5 International Symposium on the Cement and Concrete Shanghai, China, 2002, Oct. 28.–Nov. 1. – P. 832–840.

15. **Feng, Nai-Qian.** High-Strength and Flowing Concrete with a Zeolitic Mineral Admixture / Nai-Qian Feng, Li Gui-Zhi, Zang Xuan-Wu // Cements, Concrete and Aggregates. – 1990. – Vol. 12, No 2. – P. 61–69.

16. **Hogan, F. J.** Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag / F. J. Hogan, J. W. Meusel // Cements, Concrete and Aggregates. – 1981. – Vol. 3, No 1. – P. 40–52.

17. **Lane, R. O.** Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete / R. O. Lane, J. F. Best // Concrete International. – 1982. – Vol. 4, No 7. – P. 81–92.

18. **Larbi, J. A.** Effect of Water-Cement Ratio, Quantity and Fineness of sand on the Evolution of Lime in Set Portland Cement Systems / J. A. Larbi, J. M. Bijen // Cem. and Concr. Res. – 1990. – Vol. 20, No 5. – P. 783–794.

19. **Larbi, J. A.** The Chemistry of the Pole Fluid of Silica Fume-Blended Cement Systems / J. A. Larbi, J. M. Bijen // Cem. and Concr. Res. – 1990. – Vol. 20, No 4. – P. 506–516.

20. **Malhotra, V. M.** High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories Text. / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa, Canada: Printed by Marguardt Printing Ltd., 2002. – P. 101.

21. **Malhotra, V. M.** Pozzolanic and Cementitious Materials / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Gordon and Breach Publishers, 1996. – P. 191.

22. **Matsufuji, Y.** Прочностные характеристики растворов содержащих сверхтонкие частицы / Y. Matsufuji, H. Kohhata, S. Harada // Semento Konkurito Ronbunshu = CAJ Proc. Cem. and Concr. – 1991. – № 45. – С. 264–269.

23. **Opoczky, L.** Kohosalak Mechanicai Akti-Valasa Finomorlessel / L. Opoczky // Epitoanyag. – 1990. – Vol. 42, No 3. – P. 81–84.

24. **Roberts, L. R.** Microsilica in Concrete / L. R. Roberts, W. R. Grace // Mater. Sci. Concr. 1. – Westerville (Ohio), 1989. – P. 197–222.

25. **Sarkar Shondeep, L.** Microstructure of a Very Low Water/Cement Silica Fume Concrete / L. Sarkar Shondeep // Microscope. – 1990. – Vol. 38, No 2. – P. 141–152.

26. **Xu, Ziyi** Research on Super Fine Fly Ash and Its Activity / Xu Ziyi, Liu Linzhy // Proc. Beijing Int. Symp. Cem. and Concr., Beijing, May 14–17, 1985. – 1985. – Vol. 1. – P. 493–507.

27. **Бабков, В. В.** Аспекты формирования высокопрочных и долговечных цементных связей в технологии бетонов / В. В. Бабков, И. Ш. Каримов, П. Г. Комохов // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 4. – С. 41–48.

28. **Зоткин, А. Г.** Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне / А. Г. Зоткин // Бетон и железобетон. – 1994. – № 3. – С. 7–9.

29. **Каприелов, С. С.** Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов / С. С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 1995. – № 6. – С. 16–20.

30. **Костин, В. В.** Применение зол и шлаков ТЭС в производстве бетонов / В. В. Костин. – Новосибирск: НГСАУ, 2001. – 176 с.

31. **Красный, И. М.** О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей / И. М. Красный // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10–11.

32. **Кузнецова, Т. В.** Физическая химия вяжущих материалов / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимев. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.

33. **Лещинский, М. Ю.** Бетоны и растворы с применением зол ТЭС (опыт Украины) / М. Ю. Лещинский, Б. М. Галлеев, В. М. Масютин. – М.: Знание, 1988. – 64 с.

34. **Меренцова, Г. С.** Современные технологии использования зол канско-ачинских бурых углей для производства бетонов. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 1994. – 143 с.

35. **Меренцова, Г. С.** Физико-химические и технологические основы регулируемого структурообразования золобетонов: дис. ... д-ра тех. наук: 05.23.05 / Г. С. Меренцова. – Барнаул, 1997. – 296 с.

36. **Овчаренко, Г. И.** Золы углей КАТЭКа в строительных материалах / Г. И. Овчаренко. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1992. – 216 с.

37. **Овчаренко, Г. И.** Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г. И. Овчаренко, Л. Г. Плотникова, В. Б. Францен. – Барнаул: Изд-во АлтГТИ, 1997. – 149 с.

38. **Ольгинский, А. Г.** Пылеватые минеральные добавки к цементным бетонам / А. Г. Ольгинский // Строительные материалы и конструкции. – 1990. – № 3. – С. 18.

39. **Павленко, С. И.** Бетоны из твердых отходов предприятий и комплексное их использование в строительстве / С. И. Павленко. – Новокузнецк: Изд-во СибГГМА, 1996. – 152 с.

40. **Павленко, С. И.** Создание мелкозернистого бесцементного бетона на основе высококальциевых зол и шлаков тепловых электростанций / С. И. Павленко, В. И. Мальшкн. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 1999. – 151 с.

41. **Савинкина, М. А.** Золы канско-ачинских углей / М. А. Савинкина, А. Т. Логвиненко. – Новосибирск: Наука, 1979. – 168 с.

42. **Сканави, Н. А.** Строительные материалы из отходов промышленности: проблемы и решения / Н. А. Сканави // Строительство. Специализир. информ. бюл. – 2002. – № 1 (1). – С. 8–9.

43. **Леонович, И. И.** Испытание дорожно-строительных материалов / И. И. Леонович, В. А. Стрижевский, К. Ф. Шумчик // Испытание минеральных вяжущих. – Минск: Вышэйш. шк., 1991. – 233 с.

REFERENCES

1. **Geopolimerbeton s Zoloi Unosa** [Geopolymer Concrete with Peat Fly Ash]. Available at: <http://www.stroinauka.ru/d19dr5492m2.html> (accessed 11 January 2006).
2. **Volzhensky, A. V.,** Ivanov, I. A., & Vinogradov, B. N. (1984) *Application of Ash and Fuel Slag for Fabrication of Construction Materials*. Moscow, Stroyizdat. 247 p. (in Russian).
3. **Uriev, N. B.** (1980) *High Concentrated Disperse Systems*. Moscow, Khimia. 320 p. (in Russian).
4. **Rybiev, I. A.,** & Zhdanov, A. A. (2003) Development of Construction Materials with Predetermined Properties. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 3, 45–48 (in Russian).
5. **Bazhenov, Yu. M.,** Alimov, L. A., & Voronin, V. V. (1996) Development of Theory for Formation of Structure and Properties of Concrete with Technogenic Wastes. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 7, 55–58 (in Russian).
6. **Bazhenov, Yu. M.,** & Komar, A. G. (1984) *Technology of Concrete and Reinforced Products*. Moscow, Stroyizdat, 290–293 (in Russian).
7. **Ramachandran, V. S.,** Fel'dman, R. F., Kolleparadi, M., Mal'khotra, V. M., Dolch, V. L., Mekhta, P. K., & Ratinov, V. B. (1988) *Concrete Additives: Reference Guide*. Moscow, Stroyizdat, 168–184 (in Russian).
8. **Vlasov, V. K.** (1993) Regularities in Optimization of Concrete Composition with Disperse Mineral Additives. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 4, 10–12 (in Russian).
9. **Vlasov, V. K.** (1988) Mechanism for Higher Concrete Strength while Introducing Microfiller. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 10, 9–11 (in Russian).
10. **Vysotsky, S. A.** (1994) Mineral Additives for Concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2, 7–10 (in Russian).
11. **Bastian, S.** (1971) Wodoszczelnosc Betonow z Popiolow Lotnych. *Przeglad Budowlany*, 6, 319–329 (Polish).
12. **Bentz Dale, P.,** & Garboczi Edward, J. (1991) Simulation Studies of the Effects of Mineral Admixtures on the Cement Paste-Aggregate Interfacial Zone. *ACI Materials Journal*, 88 (8), 518–529.
13. **Berry, E. E.,** & Malhotra, V. M. (1980) Fly Ash for Use in Concrete – A Critical Review. *Journal of the American Concrete Institute*, 77 (2), 59–73.
14. **Bazhenov, Yu. M.,** Magdejev, U. Kh, Pavlenko, S. I., Kulagin, N. M., Aksenov, A. V., Tkachenko, V. V., Dobretsov, N. L., Lyakhov, N. Z., & Avvakumov, E. G. (2002) Composite Cementless Binder from Mechanical Active Industrial Wastes Text. *Proceedings of the 5 International Symposium on the Cement and Concrete Shanghai, China, Oct. 28.–Nov. 1, 2002*, 832–840.
15. **Feng, Nai-Qian, Li, Gui-Zhi, & Zang, Xuan-Wu.** (1990) High-Strength and Flowing Concrete With a Zeolitic Mineral Admixture. *Cements, Concrete and Aggregates*, 12 (2), 61–69. Doi: 10.1520/CCA10273J.
16. **Hogan, F. J.,** & Meusel, J. W. (1981) Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Cements, Concrete and Aggregates*, 3 (1), 40–52. Doi: 10.1520/CCA10201J.
17. **Lane, R. O.,** & Best, J. F. (1982) Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete. *Concrete International*, 4 (7), 81–92.
18. **Larbi, J. A.,** & Bijen, J. M. (1990) Effect of Water-Cement Ratio, Quantity and Fineness of Sand on the Evolution of Lime in Set Portland Cement Systems. *Cement and Concrete Research*, 20 (5), 783–794. Doi: 10.1016/0008-8846(90)90012-M.
19. **Larbi, J. A.,** & Bijen, J. M. (1990) The Chemistry of the Pole Fluid of Silica Fume-Blended Cement Systems. *Cement and Concrete Research*, 20 (4), 506–516. Doi: 10.1016/0008-8846(90)90095-F.
20. **Malhotra, V. M.,** & Mehta, P. K. (2002) *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories Text*. Ottawa, Canada, Printed by Marguardt Printing Ltd. 101 p.
21. **Malhotra, V. M.,** & Mehta, P. K. (1996) *Pozzolanic and Cementitious Materials*. Gordon and Breach Publishers. 191 p.
22. **Matsufuji, Y.,** Kohhata, H., & Harada, S. (1991) Strength Characteristics of Solutions Containing Submicron Particles. *Semento Konkurito Ronbunshu = CAJ Proc. Cem. and Concr.* 45, 264–269.
23. **Opoczky, L.** (1990) Kohosalak Mechanikai Akti-Valasa Finomorlessel. *Epitoanyag*, 42 (3), 81–84.
24. **Roberts, L. R.,** & Grace, W. R. (1989) Microsilica in Concrete. *Mater. Sci. Concr. I*. Westerville, Ohio, 197–222.
25. **Sarkar, Shondeep L.** (1990) Mikrostruktura of a Very Low Water/Cement Silica Fume Concrete. *Microscope*, 38 (2), 141–152.
26. **Xu, Ziyi,** & Linzhy, Liu. (1985) Research on Super Fine Fly Ash and Its Activity. *Proc. Beijing Int. Symp. Cem. and Concr., Beijing, May 14–17, 1985*, 1, 493–507.
27. **Babkov, V. V.,** Karimov, I. Sh., & Komokhov, P. G. (1996) Aspects for Formation of Highly Strong and Durable Cement Binders in Concrete Technology. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 4, 41–48 (in Russian).
28. **Zotkin, A. G.** (1994) Micro-Filling Effect of Mineral Additives in Concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 3, 7–9 (in Russian).
29. **Kaprielov, S. S.** (1995) General Regularities in Formation of Cement Stone and Concrete Structure with Addition of Ultra-Disperse Materials. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 6, 16–20 (in Russian).
30. **Kostin, V. V.** (2001) *Application of TPS Ash and Slag for Concrete Fabrication*. Novosibirsk: NGSU [Novosibirsk State Agricultural University]. 176 p. (in Russian).
31. **Krasny, I. M.** (1987) On Mechanism for Improvement of Concrete Strength While Introducing Micro-Fillers.

Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete], 5, 10–11 (in Russian).

32. **Kuznetsova, T. V.**, Kudriashov, I. V., & Timaev, V. V. (1989) *Physical Chemistry of Binding Materials*. Moscow, Vysshaya Shkola. 384 p. (in Russian).

33. **Leshchinsky, M. Yu.**, Galleev, B. M., & Masiutin, V. M. (1988) *Concrete and Solutions While Using TPS ash (Experience of the Ukraine)*. Moscow, Znanie. 64 p. (in Russian).

34. **Merentsova, G. S.** (1994) *Modern Technologies Angry Kansk-Achinsk Brown Coal for the Production of Concrete*. Barnaul: Publishing House of the Altai State University. 143 p. (in Russian).

35. **Merentsova, G. S.** (1997) *Fiziko-Khimicheskie i Tekhnologicheskie Osnovy Reguliruemogo Strukuroobrazovaniia Zolobetonov. Dissertatsiia Doktora Tekhnicheskikh Nauk* [Physical and Chemical and Technological Principles for Regulated Structure Formation of Ash Concrete. Dr. tech. sci. diss.]. Barnaul. 296 p. (in Russian).

36. **Ovcharenko, G. I.** (1992) *KATEK-Coal Ash in Construction Materials*. Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk University. 216 p. (in Russian).

37. **Ovcharenko, G. I.**, Plotnikova, L. G., & Frantsen, V. B. (1997) *Evaluation of KATEK Coal Ash Properties and Their Usage in Heavy Concrete*. Barnaul: Publishing House of Altai State Technical Institute. 149 p. (in Russian).

38. **Olginsky, A. G.** (1990) *Powder Mineral Additives for Cement Concrete. Stroitelnye Materialy i Konstruktsii* [Construction Materials and Structures], 3, 18 (in Russian).

39. **Pavlenko, S. I.** (1996) *Concrete from Enterprise Solid Wastes and Their Complex Usage in Construction*. Novokuznetsk: Publishing House of Siberian State Mining and Metallurgical Academy. 152 p. (in Russian).

40. **Pavlenko, S. I.**, & Malyshev, V. I. (1999) *Creation of Fine Grain Non-Cement Concrete on the Basis of High-Calcium Ash and Slag of Thermal Power Stations*. Novokuznetsk: Publishing House of Siberian State Industrial University. 151 p. (in Russian).

41. **Savinkina, M. A.**, & Logvinenko, A. T. (1979) *Ash of Kansk-Achinsky Coal*. Novosibirsk, Nauka. 168 p. (in Russian).

42. **Skanavi, N. A.** (2002). *Construction Materials from Industrial Wastes: Problems and Solutions / N. A. Skanavi // Stroitelstvo. Spetsializirovannyi Informatsionnyi Biulleten'* [Construction. Specialized Information Bulletin], 1 (1), 8–9 (in Russian).

43. **Leonovich, I. I.**, Strizhevsky, V. A., & Shumchik, K. F. (1991) *Test of Road and Construction Materials*. Minsk, Vysheishaia Shkola. 233 p. (in Russian).

Поступила 05.01.2015

УДК 624.9

ОБ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Докт. техн. наук, проф. ОСИПОВ С. Н., ПОЗДНЯКОВ Д. А.

ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»

E-mail: up-niptis@rambler.ru

Реальная оценка степени износа технических устройств, строительных конструкций, горных выработок и т. п., их элементов и соединений является важнейшим фактором обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации. Природные свойства подавляющего большинства материалов вследствие различных причин (внешнего воздействия, технологии обработки и др.) в определенной степени следуют вероятностным (стохастическим) законам. В строительной отрасли республик бывшего СССР оценка степени физического износа зданий и сооружений и их элементов хотя и производится в основном по внешним физическим признакам (прогибы, трещины, отслоения и т. п.), но проценты износа зачастую берутся по восстановительной стоимости по сравнению с начальной даже без учета инфляции, которой в СССР официально как будто не существовало. При этом за 100 % износа принимается разрушение или отказ строительных конструкций или их элементов.

В статье предлагается новая методика оценки степени физического износа по величине вероятности безотказной работы (надежности), минимальная величина которой приурочена к предельно допустимой в соответствии с требованиями к рассматриваемым техническим устройствам, строительным конструкциям, горным выработкам и т. п., их элементов и соединений. При этом за 100 % износа конструкции принимается минимально допустимая вероятность износа (надежность), а за 0 – ее начальное значение. Поэтому интенсивность износа во времени зависит от вида распределения вероятностей значений величины определяемого физического свойства. Предлагаемая методика предназначена для вероятностной оценки износа элементов при относительно простом изменении прочностных свойств материалов (например, в пределах упругости).

Ключевые слова: износ, вероятность отказа, надежность, технические устройства, строительные конструкции, элементы, соединения, шкала надежности.

Ил. 1. Библиогр.: 12 назв.