

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВАКУУМИРОВАННЫХ ЗОЛОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ

САВИЦКИЙ Н. В.<sup>1</sup>, *д. т. н, проф.*,  
АББАСОВА А. Р.<sup>2\*</sup>, *асп.*

<sup>1</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>2\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: abbasova003@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9643-5305

**Аннотация. Постановка проблемы.** Известно, что зола гидроудаления тепловых электростанций имеет различный зерновой состав в разных местах отвала, постоянно меняющуюся влажность в течение года. Кроме того, в любой золе, даже сверхкислой, имеется некоторое количество извести, которая при наличии влаги со временем твердеет. В результате этого постоянно образуются известково-золевые микро- и макроконгломераты. Все это усложняет подачу такой золы в накопительные бункера БСУ, ее хранение в бункерах и выдачу через дозатор в смеситель. Непостоянный зерновой состав, наличие твердеющей извести, постоянно меняющаяся влажность существенно усложняют технологию получения изделий из золобетонных с высокими физико-механическими свойствами. **Анализ публикаций.** К числу наиболее обстоятельных исследований зол относятся работы Н. В. Юнга, В. В. Суровцева, Г. М. Сиверцева, С. Д. Окорокова и др., в которых дана характеристика зол пылевидного топлива, определены оптимальные цементно-золевые и известково-золевые отношения, влияние на качество золобетонных водовяжущего отношения, методов уплотнения бетонной смеси и тепловлажностной обработки золобетонных [2; 10]. Американские специалисты считают, что применение зол прежде всего диктуется экономическими соображениями, так как громадный выход зол на электростанциях является по существу бесплатным сырьевым источником. В США золы электростанций нашли большое применение в производстве золоцементных бетонов для дорог и плотин [1; 17; 19]. **Цель статьи** разработать вибровакуумную технологию производства стеновых блоков с немедленной распалубкой из золобетонных, в которых используется зола гидроудаления как заполнитель. Предполагается, что все перечисленные особенности и недостатки золы как заполнителя для бетонов при формировании изделий из золобетонных смесей вибровакуумированием практически не будут влиять на качество вакуумзолобетона. **Вывод.** Предложена новая технология изготовления вакуумированных стеновых блоков и других изделий из золобетона с немедленной распалубкой. Выполнена оптимизация состава золобетонной смеси для уплотнения вакуумированием. Получена высокая структурная прочность вакуумзолобетона сразу же после формирования, что гарантирует надежную немедленную распалубку свежесформованных изделий. Прочность вакуумзолобетона в возрасте 28 суток повышается в два и более раз в сравнении с бетонами из исходной бетонной смеси, а в сравнении с бетоном из жесткой смеси - на 30..40%. Вакуумзолобетон в начальные сроки твердеет значительно интенсивнее, чем виброуплотненные бетоны, что способствует снижению материалоемкости технологического оборудования, повышению производительности труда.

**Ключевые слова:** зола, золобетон, вибровакуумирование, водопотребность, усадка, морозостойкость, прочность, долговечность.

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ВАКУУМОВАНИХ ЗОЛОБЕТОННИХ СТІНОВИХ БЛОКІВ

САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>1</sup>, *д. т. н, проф.*,  
АББАСОВА А. Р.<sup>2\*</sup>, *асп.*

<sup>1</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій. Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>2\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій. Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: abbasova003@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9643-5305

**Анотація. Постановка проблеми.** Відомо, що зола гідровидалення теплових електростанцій має різний зерновий склад у різних місцях відвалу, постійно мінливу вологість протягом року. Крім того, в будь-якій золі, навіть надкислій, є деяка кількість вапна, яка за наявності вологи з часом твердне. Внаслідок цього постійно утворюються вапняно-зольні мікро- і макроконгломерати. Все це ускладнює подачу такої золи в накопичувальні бункери БСУ, її зберігання в бункерах і видачу через дозатор у змішувач. Непостійний зерновий склад, наявність вапна, що твердне, постійно змінювана вологість - усе це істотно ускладнює технологію отримання виробів із золобетонів з високими фізико-механічними властивостями. **Аналіз публікацій.** До числа найбільш докладних досліджень зол належать праці Н. В. Юнга, В. В. Суровцева, Г. М. Сіверцева, С. Д. Окорочова та ін., у яких дано характеристику зол пилоподібного палива, визначено оптимальні цементно-зольні і вапняно-зольні відношення, вплив на якість золобетонів водов'язучого відношення, методів ущільнення бетонної суміші й обробки золобетонів [2; 10]. Американські фахівці вважають, що застосування зол насамперед диктується економічними міркуваннями, оскільки величезний вихід золи на електростанціях – це, по суті безкоштовне сировинне джерело. У США золи електростанцій знайшли велике застосування у виробництві золоцементних бетонів для доріг і дамб [1; 17; 19]. **Мета статті.** Розробити вібровакуумну технологію виробництва стінових блоків із негайною розпалубкою із золобетонів, у яких використовується зола гідровидалення як заповнювач. Передбачається, що всі перераховані особливості та недоліки золи як заповнювача для бетонів під час формування виробів із золобетонних сумішей вібровакуумуванням практично не впливатимуть на якість вакуумзолобетону. **Висновок.** Запропоновано нову технологію виготовлення вакуумованих стінових блоків та інших виробів із золобетону з негайною розпалубкою. Виконано оптимізацію складу золобетонної суміші для ущільнення вакуумуванням. Отримано високу структурну міцність вакуумзолобетону відразу ж після формування, що гарантує надійну негайну розпалубку свіжовідформованих виробів. Міцність вакуумзолобетону у віці 28 діб підвищується в два і більше разів порівнянно з бетонами з вихідної бетонної суміші, а порівняно з бетоном із жорсткої суміші - на 30 ... 40 %. Вакуумзолобетон у початкові терміни твердне значно інтенсивніше, ніж віброущільнені бетони, що сприяє зниженню матеріаломісткості технологічного обладнання, підвищенню продуктивності праці.

**Ключові слова:** зола, золобетон, вібровакуумування, водопотребна, усадка, морозостійкість, міцність, довговічність.

## PRODUCTION TECHNOLOGY OF VACUUMIZED ASH-CONCRETE WALL BLOCKS

SAVYTSKYI M. V.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
ABBASOVA A. R.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Stud.*

<sup>1</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str, Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, тел.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>2\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str, Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, тел.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: abbasova003@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9643-5305

**Abstract. Problem statement.** The hydroremoval ash of thermal power plants is known to have a different grain structure in different places of dump, constantly changing humidity throughout the year. Moreover any ashes, even over of acid, have some amount of lime which is becoming firmer in the presence of humidity with time moisture. As a result, constantly formed lime-ash micro- and macro- conglomerates. All this complicates the supply of such ash in storage binder BSU, stored in silos and issuing through the dispenser into the mixer. Unstable grain composition, the presence of hardening lime, constantly changing humidity greatly complicate the technology of producing products from ash concrete with high physical and mechanical properties. **Analysis of publications.** Works N. V. Jung, V. Surovtsev, G. M. Sivertseva, S. D. Okorokova etc. are among the most extensive studies of ash, where the characteristics of pulverized fuel ashes are, the optimal cement-ash and lime-ash ratio, the influence on quality of ash concrete binder relations techniques of compaction of concrete mixture and heat and humidity machining of ash concrete are determined [2; 10]. American experts consider that the use of ashes is dictated with economic considerations, because a huge output of ash at power stations is essentially free source of raw materials. In the United States ash power station found of wide application in the production of ash-cement concretes for roads and dams [1; 17; 19]. **Purpose.** To develop a vibrovacuum technology of production of building blocks with immediate stripping of ash-concrete where the hydro removal ash is used as a aggregate. All enumerated features and ash shortage as filler for concretes in formation of products from ash concrete mixes by vibrovacuumizing, is supposed not to influence on the quality of the vacuum ash concrete. **Conclusion.** A new technology for manufacturing vacuumized building blocks and other products from ash concrete with immediate stripping was offered. High structural strength of vacuum ash concrete was got immediately after molding that ensures reliable immediate stripping of the molded products. Strength of vacuum ash concrete after 28 days has been increasing in two or more times in comparison with concrete from the

initial concrete mixture, and in comparison with rigid concrete mixture at 30...40%. Vacuum ash-concrete in the initial periods is much more intense hardens than vibro concrete, thereby reducing consumption of materials of technological equipment and increasing productivity.

**Keywords:** *ash, ash concrete, vibrovakuumizing, water demand, shrinkage, frost resistance, strength, durability.*

**Постановка проблемы.** Известно, что зола гидроудаления тепловых электростанций имеет различный зерновой состав в разных местах отвала, постоянно меняющуюся влажность в течение года. Кроме того, в любой золе, даже сверхкислой, имеется некоторое количество извести, которая при наличии влаги со временем твердеет. В результате этого постоянно образуются известково-золяные микро- и макроконгломераты. Все это усложняет подачу такой золы в накопительные бункера БСУ, ее хранение в бункерах и выдачу через дозатор в смеситель. Непостоянный зерновой состав, наличие твердеющей извести, постоянно меняющаяся влажность существенно усложняют технологию получения изделий из золобетонов с высокими физико-механическими свойствами.

**Анализ публикаций.** К числу наиболее обстоятельных исследований зол относятся работы В. В. Суровцева, Г. М. Сиверцева, С. Д. Окорокова Н. В. Юнга и др., в которых дана характеристика зол пылевидного топлива, определены оптимальные цементно-золяные и известково-золяные отношения, влияние на качество золобетонов водвяжущего отношения, методов уплотнения бетонной смеси и тепловлажностной обработки золобетонов [2; 10].

Американские специалисты считают, что применение зол прежде всего диктуется экономическими соображениями, так как громадный выход зол на электростанциях является по существу бесплатным сырьевым источником. В США золы электростанций нашли большое применение в производстве золоцементных бетонов для дорог и плотин [1; 17; 19].

В Германии рядом научно-исследовательских организаций проведены исследования по использованию зол пылевидного топлива для производства вяжущих, строительных изделий и конструкций [3; 6]. Производство крупных блоков с применением зол как массового стенового ма-

териала ограничено из-за образования трещин в таких неармированных изделиях. Так, в Штутгарте изготавливают известково-золяные и цементно-золяные мелкозерновые камни. Проблема борьбы с трещинообразованием в крупных блоках осталась нерешенной. Зола электростанций в Германии находят массовое применение как добавки в бетоны и строительные растворы.

В своей монографии А. Т. Баранов, Г. А. Бужевич [2] обобщили опыт использования зол при производстве плотных и ячеистых бетонов. Здесь же приведены обширные результаты исследований основных свойств зол. Отмечено, что насыпная плотность золы зависит от температуры сжигания топлива. В зависимости от насыпной плотности они делят золы на особо легкие (плотность до  $500 \text{ кг/м}^3$ ), легкие, средние и тяжелые (плотность последних более  $1000 \text{ кг/м}^3$ ). Отмечена зависимость насыпной плотности золы от ее влажности. Наибольшую насыпную плотность имеет сухая зола. При небольшом увлажнении (до 2...6 %) насыпная плотность резко снижается, при дальнейшем увлажнении – постепенно возрастает. При виброуплотнении насыпная плотность сухой золы повышается примерно на 10 %, а увлажненной – на 25...30 %.

В работах [9; 16; 18] приведены результаты исследований структуры золоцементного камня в различные сроки твердения, контактной зоны дисперсных частиц с цементным камнем, показана её сложная структура, состоящая из нескольких фаз. Доказано, что активное взаимодействие этих фаз в контактной зоне происходит в течение длительного времени. Отмечено, что эволюция таких структур контактной зоны идёт в направлении упрочнения материала.

Наиболее обширные исследования по золобетонам и мелкозернистым бетонам с использованием золы проведены Л. И. Дворкиным и его школой [4; 5]. Дана общая характеристика зол и составов бетонных смесей с добавкой золы. Исследовано влияние

золы на реологические свойства бетонных смесей, строительные-технические свойства бетонов. Выполнен большой объем работ по моделированию свойств наполненных цементных паст. Исследованы их структурно-механические свойства.

Достаточно хорошо известны основные функции золы в бетонах, высокая эффективность последних, большая сырьевая база золы, наличие нормативных документов предоставляют возможность массового применения бетонов, в состав которых входит зола. Очевидно, задачу следует поставить следующим образом: зола должна использоваться как составляющая бетонов, за исключением тех случаев, когда ее применение технически недопустимо либо экономически невыгодно [6; 8; 10].

Технико-экономический эффект определяется не только улучшением технических свойств бетона и экономией цемента. Немалое значение имеет снижение стоимости бетона, уменьшение массы перевозимых его составляющих и готовых конструкций, а также снижение затрат на строительство и эксплуатацию золоотвалов и экономия при производстве цемента и заполнителей, уменьшение сопряженных затрат в других отраслях. Кроме технико-экономического эффекта при использовании зол достигается и существенный социальный эффект.

Опыт использования золы ТЭС в строительстве выявил ряд существенных недостатков, которые сдерживают применение золы в технологии бетонов.

Практикой доказано, что для строительства лучше зола сухого отбора, но, как правило, на большинстве тепловых электростанций отсутствует оборудование для хранения и выдачи такой золы, поэтому полученная зола транспортируется в отвалы гидравлическим способом. Как отмечалось ранее, наблюдаются очень большие колебания влажности золы, находящейся в отвалах, и ее непостоянный зерновой состав в разных местах отвала, возникает необходимость в ее фракционировании. Это резко усложняет технологию отбора золы переменной влажности и ее использование в технологии бетонов. Усложняются вопросы получения рационального состава золобетонной смеси.

Установлено, что замедляется гидратация вяжущего в первый период твердения бетонов и растворов, имеющих в своем составе золу. Повышенные расходы золы в бетонах часто приводят к весьма нежелательным явлениям (появление усадочных трещин, снижение долговечности и т. п.).

Большое перенасыщение свежесушеного золобетона водой обуславливает его более высокую пористость, низкие прочность и морозостокость. Повышенная водопотребность золобетонных смесей особенно влияет на его усадку, вызывающую значительные напряжения при твердении и высыхании бетонов.

В настоящее время формуют золобетонные изделия вибропрессованием и вибро-трамбованием. Особенность формования изделий (стенные камни) заключается в том, что они сразу после уплотнения смеси освобождаются от боковой опалубки. Это позволяет применять пластичные золобетонные смеси с требуемой оптимальной дозировкой воды, ибо избыток воды вызывает деформацию изделий после формования, образуются оплывы. Использование жестких золобетонных смесей не гарантирует надежную немедленную распалубку из-за большой упругости таких смесей. В этом случае трудно получить четкие грани и углы, во многих случаях возникают осыпания, трещины, каверны и расслоения.

Следует отметить основные трудности изготовления крупноразмерных изделий. Они заключаются в том, что золобетон дает при твердении в воздушных условиях большую усадку, вызывающую появление трещин.

**Цель исследования** — разработать вибровакуумную технологию производства стеновых блоков с немедленной распалубкой из золобетонов, в которых используется зола гидроудаления как заполнитель. Предполагается, что все перечисленные особенности и недостатки золы как заполнителя для бетонов при формовании изделий из золобетонных смесей вибровакуумированием практически не будут влиять на качество вакуумзолобетона.

**Изложение материала.** Для предлагаемой технологии разработана и изготовлена специальная форма для изготовления стено-

вых блоков широкой номенклатуры (по количеству и форме пустот) (ДСТУ В Б.2.7. – 7:2008). В этой форме поддон выполнен в виде вакуумкамеры, оборудованной сменными основаниями с комплектом перфорированных пустотообразователей, внутреннее пространство которых через щелевые отверстия в сменном основании соединено с вакуумкамерой (рис. 1) [14; 15].



Рис. 1. Форма для формирования стеновых блоков методом виброввакуумирования

Формование изделий сводится к следующему [12]. В форму, оснащенную необходимыми перфорированными пустотообразователями, укладывают пластичную золобетонную смесь. Затем ее подключают к вакуумнасосу. В результате этого создается пониженное давление в вакуумкамере формы и во внутреннем пространстве перфорированных пустотообразователей. Под действием пониженного давления (вакуума) водовоздушная смесь из уложенной в форму бетонной смеси удаляется в пустотообразователи, затем в вакуумкамеру, в вакуумсистему и водосборник (рис. 2).

За счет пониженного давления (вакуума) в перфорированных пустотообразователях, и, соответственно, в уплотняемой бетонной смеси, а также действия атмосферного давления на открытую поверхность формируемого бетонного изделия, достигается интенсивное удаление из бетонной смеси водовоздушной смеси, что способствует качественному ее уплотнению и, соответственно, получению бетона с повышенными физико-механическими свойствами.



Рис. 2. Вакуумстанция для формирования золобетонных стеновых блоков



Рис. 3. Немедленная распалубка свежесформованных виброввакуумированием золобетонных стеновых блоков

Кроме этого, значительно сокращается продолжительность вакуумирования, снижается энергоемкость технологического оборудования за счет того, что удаление водовоздушной смеси проходит под действием собственного веса. После вакуумирования осуществляют немедленную распалубку свежесформованных изделий (рис. 3).

В таблице приведены результаты наших исследований по оптимизации состава золобетонной смеси для формования изделий и некоторых свойств золобетонов. Использовали золобетонную смесь состава 1 : 4 (цемент : зола) с изменяющимся расходом воды. Применяли золу Приднепровской ТЭС (г. Днепропетровск), цемент М 400 Криворожского завода. В роторном смесителе путем тщательного перемешивания сначала готовили зольный шлам с водозольным соотношением около 0,5 (с учетом переменной влажности золы, поступающей из отвала). Затем приготовленный шлам дозировали в

бетоносмеситель, в который после этого дозировали цемент и приготавливали пластич-

ную золобетонную смесь.

Таблица

Плотность и структурная прочность золобетонов в зависимости от их состава и способа уплотнения

Состав золобетонов (Ц:З)	В/Ц золобетонов		Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Структурная прочность, МПа	
	Виброуплотненного	Вибровакуумированного	Виброуплотненного	Вибровакуумированного	Виброуплотненного	Вибровакуумированного
1 : 3	1,59	1,59	1 570	1 606	0,03	0,14
1 : 4	1,53	1,53	1 547	1 588	0,02	0,1
1 : 5	1,46	1,46	1 532	1 561	0,018	0,08

Прочность золобетонов определяли на образцах 150×150×70 мм, которые формовались одновременно со стеновыми блоками. Продолжительность вакуумной обработки при разрежении 0,70...0,75 (полный вакуум принят за единицу) составила 10 мин., при этом измеряли количество извлеченной воды. С целью разрушения направленных капилляров и сводообразований в процессе

вакуумирования осуществляли кратковременное периодическое вибрирование. Для сравнения из того же состава, что и вакуумбетон (при том же содержании составляющих) приготавливалась жесткая смесь, из которой вибрационным способом с пригрузом 0,006 МПа формовали те же образцы. Результаты исследований на рисунке 4.

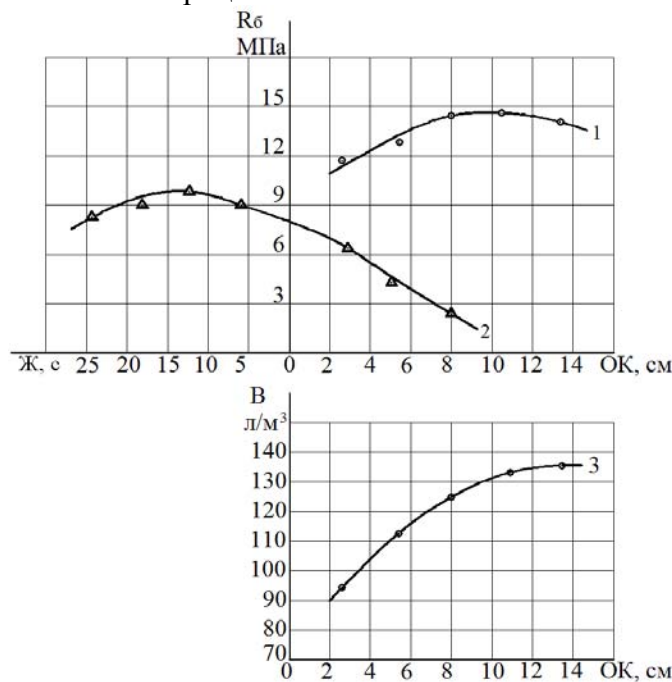


Рис. 4. Прочность золобетонов и количество извлеченной воды при вакуумировании в зависимости от подвижности исходной бетонной смеси:

1 – вакуумированный золобетон; 2 – то же, виброуплотненный; 3 – количество извлеченной воды

Как и следовало ожидать, золобетонная смесь, предназначенная для уплотнения вибровакуумированием, имеет рациональную подвижность (ОК = 8...10 см), а водозольное соотношение составляет 0,48...0,53. При этих условиях получена наибольшая прочность вакуумзолобетона. Для виброуплотненных золобетонов наблюдаются известные закономерности – наибольшая прочность получена из жесткой золобетонной смеси (Ж15).

При определении структурной прочности вакуумзолобетонов в исследованиях применяли золобетонные смеси с ОК = 8...10 см (В/Ц=1,9...2), виброуплотненные с жесткостью 15 с. Виды образцов и режимы формования использовались те же, что и в предыдущих опытах. Результаты испытаний показали, что структурная прочность свежотформованного вакуумбетона выше в 4...5 раз, чем у виброуплотненного из жесткой смеси при одном и том же В/Ц, практи-

чески одинаковом расходе цемента и плотности (табл.). Это является важнейшей особенностью вакуумированных бетонов. Такая высокая прочность свежесформованных вакуумбетон по данным Р. Лермита [7], позволяет формировать сборные или монолитные конструкции с немедленной распалубкой достаточно большой высоты (на этаж и более). Приведенные данные свидетельствуют о преимуществах вибровакуумированного золобетона перед виброуплотненным из жестких бетонных смесей, о высокой надежности предлагаемой технологии при формировании изделий и конструкций с немедленной распалубкой.

В общем случае вибровакуумирование предоставляет возможность повысить прочность золобетона практически в 2 раза. Прочность бетонов из жестких золобетонных смесей больше прочности бетонов из подвижных смесей только на 30...35 %. Это объясняется недостаточным уплотнением вибрационным способом таких смесей. С целью выявления закономерностей роста прочности исследуемых золобетонов во времени определяли их прочность в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток (рис. 5).

Подвижность исходной бетонной смеси, размеры образцов, режимы формирования использовались такие же, как и в предыдущих опытах. Как и следовало ожидать, наблюдается более интенсивный рост прочности вакуумбетона в начальный период твердения по сравнению с виброуплотненными. Следует отметить, что через 3 суток твердения в нормальных условиях прочность вакуумированного золобетона в 2,5...3 раза больше виброуплотненного бетона из подвижной бетонной смеси и на 60...70 % больше, чем у золобетона из жесткой смеси. Наблюдается интенсивное твердение вибровакуумированного золобетона и в возрасте 7 и 14 суток. Как и в предыдущих опытах, из рисунка 5 видно, что в возрасте 28 суток прочность вибровакуумированного золобетона в 2 раза больше, чем виброуплотненно-

го из подвижной смеси, и существенно больше, чем виброуплотненного бетона из жесткой смеси. Таким образом, вакуумирование золобетонных смесей решает проблему замедленного твердения золобетонов.

Высокие показатели физико-механических свойств вакуумзолобетонов объясняются результатами наших исследований микро- и макроструктуры бетонов. Исследования выполнены с помощью специальной установки, созданной на базе стереографического микроскопа МБС-10. Анализ полученных результатов (рис. 6) дает основание сделать вывод о том, что вибровакуумированный золобетон имеет намного меньшую общую пористость (капиллярные и контракционные поры, поры геля), характеризуется значительно меньшим размером пор в сравнении с пористостью виброуплотненного бетона из жесткой смеси. Все это способствует повышению свойств вакуумзолобетонов и в том числе морозостойкости. Полученная нами высокая морозостойкость вакуумированных золобетонов [11] объясняется не только высокой степенью уплотнения золобетонных смесей вибровакуумированием, но и очень малым капиллярным всасыванием (по В. В. Стольникову), большей степенью гидратации вяжущего в вакуумированных бетонах в сравнении с виброуплотненными из жестких смесей [13].

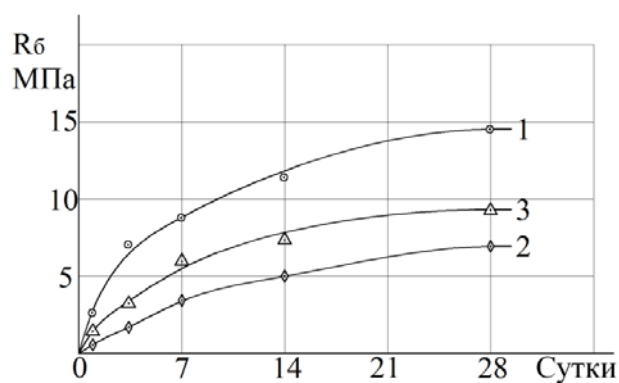


Рис. 5. Изменение (рост) прочности золобетонов во времени: 1 – вакуумированный бетон; 2 – виброуплотненный из подвижной (исходной) смеси; 3 – то же, из жесткой смеси

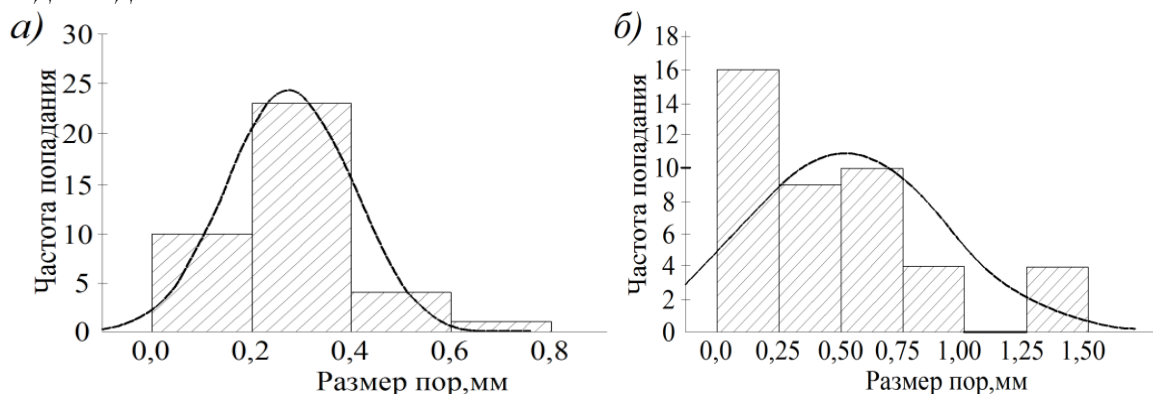


Рис. 6. Гистограмма распределения размеров пор в золобетонах:  
 а – вибровакуумированный золобетон; б – виброуплотненный золобетон;  
 - - - линии нормального распределения

Высокая степень использования вяжущего (большая степень гидратации) при вакуумировании золобетонных смесей обеспечивается за счет:

- относительно высокого начального содержания воды в смеси (до вакуумирования), что создает благоприятные условия смачивания составляющих и растворения клинкерных минералов цемента;

- деаэрацией бетонной смеси (особенно огромной поверхности твердой фазы).

Исследования усадки и набухания золобетонных выполнены в соответствии с требованиями ДСТУ Б.В. 2.7. – 216 : 2009. Известно, что усадка бетона - одна из основных причин появления в нем собственных напряжений, приводящих в ряде случаев к образованию трещин, к снижению стойкости, водонепроницаемости и долговечности сооружения.

Измерение усадки и набухания различных видов золобетонных проведено на образцах размером 300×100×60 мм на протяжении 120 суток. Длину образцов измеряли при помощи оптического компаратора ИЗА-2. Для этого после уплотнения бетонной смеси на ее поверхность прикрепляли латунные пластинки с нанесенными на них отметками, по которым и проводили отсчеты. Все образцы освобождали из форм через сутки после формирования. Часть образцов хранили в воздушносухих условиях (относительная влажность 50...60 %), другую часть через сутки после формирования помещали в воду. Измерение размеров образцов начато через сутки после формирования. Результаты опытов приведены на рисунке 7.

Наибольшие показатели усадки (0,654 мм/м) и набухания (0,381 мм/м) у золобетонных из подвижной золобетонной смеси. Усадка бетона из виброуплотненной жесткой смеси намного меньше. Как и следовало ожидать наименьшую усадку имеет вакуумбетон. Она значительно меньше, чем у золобетона из жесткой смеси.

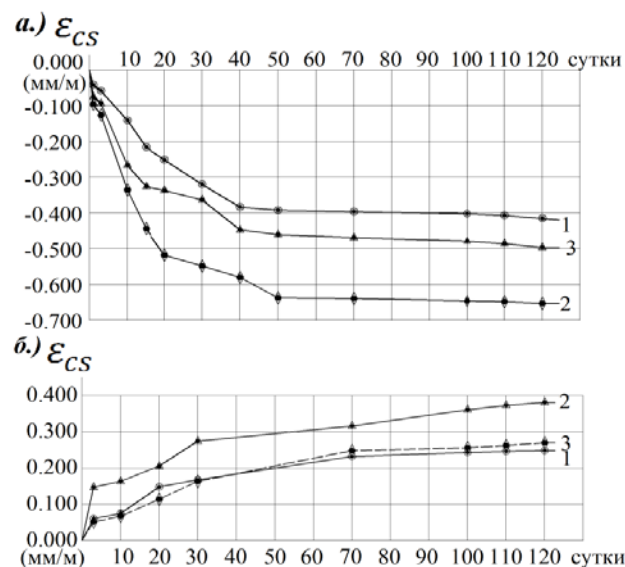


Рис. 7. Усадка и набухание золобетонных в зависимости от продолжительности и условий твердения:  
 а - при хранении образцов в воздушно - сухих условиях;  
 б - то же, в воде; 1 – вибровакуумированный;  
 2 – виброуплотненный (OK = 3...4 см);  
 3 – виброуплотненный из жесткой смеси

Величина набухания вакуумбетона в воде за 120 суток – в пределах 0,248 мм/м, что незначительно меньше набухания виброуплотненного бетона из жесткой смеси, но в 1,5 раза меньше, чем для бетона из подвижной золобетонной смеси.



Высокие показатели по усадке и набуханию вакуумзолобетонных еще раз свидетельствуют о значительной долговечности таких бетонов, это предоставляет возможность изготавливать конструкции из золобетонных значительных размеров.

**Вывод.** Предложена новая технология изготовления вакуумированных стеновых блоков и других изделий из золобетона с немедленной распалубкой. Выполнена оптимизация состава золобетонной смеси для уплотнения вакуумированием. Получена высокая структурная прочность вакуумзоло-

бетона сразу же после формирования, что гарантирует надежную немедленную распалубку свежесформованных изделий. Прочность вакуумзолобетона в возрасте 28 суток повышается в 2 и более раз в сравнении с бетонами из исходной бетонной смеси, а в сравнении с бетоном из жесткой смеси – на 30...40 %. Вакуумзолобетон в начальные сроки твердеет значительно интенсивнее, чем виброуплотненные бетоны, что способствует снижению материалоемкости технологического оборудования, повышению производительности труда.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Антипин А. Н. Использование золы-уноса тепловых электростанций в США / А. Н. Антипин // Строительные материалы. – 1969. - № 3. – С. 39-40.
2. Баранов А. Т. Золобетон ячеистым и плотный / А. Т. Баранов, Г. А. Бужевич ; ред. С. А. Миронов. – Москва : Госстройиздат, 1960. – 223 с.
3. Волженский А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – Москва : Стройиздат, 1984. - 253 с.
4. Дворкин Л. И. Использование золы-уноса ТЭС для приготовления бетонов и растворов при строительстве АЭС / Л. И. Дворкин, И. Г. Пресман. – Москва : Информэнерго, 1987. – 52 с.
5. Дворкин Л. И. Эффективные цементно-золевые бетоны : монография / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин, Ю. А. Корнейчук. – Ровно : Эден, 1998. – 195 с.
6. Кокубу М. Зола и золевые цементы (основной доклад) / М. Кокубу // Пятый международный конгресс по химии цемента [7-11 октября 1968 г., Токио] / сокр. пер. с англ. и ред. О. П. Мчедлова-Петросяна, Ю. М. Бутта, В. И. Сатарина, А. И. Бойковой. – Москва, 1973. – С. 405-416.
7. Лермит Р. Проблемы технологии бетона / Р. Лермит. – Москва : Гостройиздат, 1959. – 294 с.
8. Лещинский М. Ю. О применении золы-уноса в бетонах / М. Ю. Лещинский // Бетон и железобетон. – 1987. – № 1. – С. 19-21.
9. О гидратации и твердении цементов с золой / З. Б. Энтин, Е. Т. Яшина, Г. Г. Лепешенкова, Н. З. Рязанцева // Шестой международный конгресс по химии цемента (23-27 сентября 1974 г., Москва) : труды : в 3 т. / под общ. ред. А. С. Болдырева. – Москва, 1976. – Том 3 : Цементы и их свойства. – С. 95-108.
10. Попов Н. А. О рациональных путях комплексного использования зол электростанций / Н. А. Попов, И. А. Иванов // Строительные материалы. – 1963. – № 8. – С. 5-8.
11. Савицкий Н. В. Прочность и морозостойкость золобетонных / Н. В. Савицкий, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Придн. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 75. – С. 204-209.
12. Спосіб виготовлення бетонних виробів : пат. 48498 Україна : МПК С04В 7/00 / Приходько А. П., Павленко Т. М., Дехта Т. М., Аббасова А. Р. ; заявник і патентовласник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – u 2009 08194 ; заявл. 03.08.2009 ; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6. – 4 с.
13. Сторожук Н. А. Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона : монография / Н. А. Сторожук. – Днепропетровск : Пороги, 2008. – 251 с.
14. Форма для виготовлення бетонних виробів : пат. 48488 Україна : МПК С04В 7/28 / Приходько А. П., Павленко Т. М., Дехта Т. М., Аббасова А. Р. ; заявник і патентовласник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – u 2009 08125 ; заявл. 03.08.2009 ; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6. – 4 с.
15. Форма для виготовлення бетонних виробів : пат. 56848 Україна : МПК С04В 7/28 / Приходько А. П., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. ; заявник і патентовласник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – u 2010 09346 ; заявл. 26.07.2010 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. – 4 с.
16. Berry E. E. Fly ash for use in concrete - a critical review / E. E. Berry, V. M. Malhotra // Journal of the American concrete institute. – 1980. – Vol. 77, № 2. – P. 59-73.
17. Capp I. P. Fly ash utilization / I. P. Capp // Combustion. – 1966. – Vol. 37, № 8. - P. 36-40.
18. Libeau Fr. Untersuchungen uber die Grosse des Si-O-Si Valenzwinkels / Fr. Libeau // Acta Crystal. - 1961. - Vol. 14, part 11. - P. 1103-1109.
19. Raymond S. The use of stabilized fly ash in road construction / S. Raymond, P. H. Smith // Civil engineering and Public Works Review. – 1964. - Vol. 59, № 691. - P. 238-240.

## REFERENCES

1. Antipin A. N. *Ispolzovanie zoly-unosa teplovykh elektrostantsiy v USA* [Using fly ash thermal power plants in the United States]. *Stroitelnyye materialy* – Building material. 1969, no. 3, pp. 39-40 (in Russian).
2. Baranov A. T., Buzhevich G. A. *Zolobeton yacheisty i plotnyi* [Dense and cellular ash concrete]. Moscow, Gosstroyizdat, 1960, 223 p. (in Russian).
3. Volzhensky A. B., Ivanov A. I., Vinogradov B. *Primenenie zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitelnykh materialov* [Application of ash and fuel wastes in the production of building materials]. Moscow, Stroyizdat, 1984, 253 p. (in Russian).
4. Dvorkin L. I., Presman I. G. *Ispolzovanie zoly-unosa TPS dlya prigotovleniya betonov i rastvorov pri stroitelstve APP : obzornaya informatsiya* [Use of fly ash thermal power plants for the preparation of concrete and mortar in the construction of nuclear power plants]. Moscow, Informenergo, 1987, 52 p. (in Russian).
5. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L., Korneychuk Yu. A. *Effektivnye tsementno-zolnye betony. Monografiya* [Effective cement-ash concrete. Monograph]. Rovno, Eden, 1998, 195 p. (in Russian).
6. Kokubu M. *Zola i zolnye tsementy* [Ash and ash cements]. *Pyatyy mezhdunarodnyy kongress po himii tsementa* - The Fifth International Congress of cement chemistry. Moscow, 1973. pp. 405-416 (in Russian).
7. Lermitt R. *Problemy tehnologii betona* [Problems of concrete technology] Moscow, Gostroyizdat, 1959, 294 p. (in Russian).
8. Leschinskiy M. Yu. *O primeneni zoly-unosa v betonakh* [About the application of fly ash in concrete]. *Beton i zhelezobeton* – Concrete and forced concrete. 1987, no.1. pp. 19-21 (in Russian)
9. Entin Z. B., Yashina E. T., Lepeshenkova G. G., Ryazantseva N. Z. *O gidratatsii i tverdenii tsementov s zoloy* [About hydration and hardening of cement with fly ash]. *Shestoy mezhdunarodnyy kongress po himii tsementa*. Tom 3. The Sixth International Congress of cement chemistry. Vol. 3. Moscow, 1976, pp. 95-108 (in Russian).
10. Popov N. A., Ivanov I. A. *O ratsionalnykh putyakh kompleksnogo ispolzovaniya zol elektrostantsiy* [Rational ways of comprehensive utilization of ashes of power plant]. *Stroitelnyye materialy* –Building materials. 1963, no. 8, pp. 5-8 (in Russian).
11. Savitskiy N. V., Pavlenko, T. M., Abbasova A. R. *Prochnost' i morozostoykost' zolobetonov* [Ash concrete strength and frost-resistance]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* - Construction, materials science, mechanical engineering. Dnepropetrovsk, PGASA, 2014, no. 75, pp. 204-209 (in Russian).
12. Prihodko A. P., Pavlenko T. M., Dehta T. M., Abbasova A. R. *Sposib vivotovlennya betonnykh vyrobiv. Pat. 48498 Ukraina : MPK S04V 7/00; zayavnik i patentovlasnik Pridnopr. derzh. acad. bud-va ta arhitekturi. u 2009 08194; zayavl. 03.08.2009 ; opubl. 25.03.2010. Byul. № 6* [Method of manufacturing concrete products. Pat. 48498 Ukraine : MPK S04V 7/00; applicant and patent owner is PSACEA. u 2009 08194; declared. 03.08.2009 ; published. 25.03.2010. Bulletin № 6]. 4 p. (in Russian).
13. Storozhuk N. A. *Vibrovakuumirovanie betonnykh smesey i svoystva vakuumbetona. Monografiya* [Vibrovakuumirovanie concrete mixtures and properties of vacuum concrete. Monograph] Dnepropetrovsk, Porogi, 2008, 251 p. (in Russian).
14. Prihodko A. P., Pavlenko T. M., Dehta T. M., Abbasova A. R. *Forma dlya vivotovlennya betonnykh vyrobiv. Pat. 48488 Ukraina : MPK S04V 7/28. ; zayavnik i patentovlasnik Pridnopr. derzh. acad. bud-va ta arhitekturi u 2009 08125; zayavl. 03.08.2009; opubl. 25.03.2010. Byul. № 6* [Form for cement products. Pat. 48488 Ukraine: MPK S04V 7/28; applicant and patent owner is PSACEA u 2009 08125; declared 03.08.2009; published 25.03.2010. Bulletin № 6. ] 4 p. (in Russian).
15. Prihodko A. P., Pavlenko T. M., Abbasova A. R. *Forma dlya vivotovlennya betonnykh vyrobiv. Pat. 56848 Ukraina : MPK S04V 7/28.; zayavnik i patentovlasnik Pridnopr. derzh. acad. bud-va ta arhitekturi – u 2010 09346; zayavl. 26.07.2010 ; opubl. 25.01.2011. Byul. № 2.* [Form for cement products. Pat. 56848 Ukraine : MPK S04V 7/28.;applicant and patent owner is PSACEA.-u 2010 09346; declared 26.07.2010 ; published 25.01.2011. Bulletin № 2] 4 p. (in Russian).
16. Berry E. E. Fly ash for use in concrete - a critical review. *Journal of the American concrete institute*. - 1980, vol. 77, no. 2, pp. 59-73.
17. Capp I. P. Fly ash utilization .*Combustion*.1966, vol. 37,no.8,pp. 36-40.
18. Libeau Fr. Untersuchungen uber die Grosse des Si-O-Si Valenzwinkels.*Acta Crystal*. 1961,vol. 14, Part 11. pp. 1103- 1109.
19. Raymond S., Smith P. The use of stabilized fly ash in road construction. *Civil engineering and Public Works Review*. 1964,vol. 59, no. 691, pp. 238-240.

Статья рекомендована к публикации 28.04.2015 г. Рецензент: д. т. н., проф. Сторозжук Н. А.

Поступила в редколлегию: 21.05. 2015 г. Принята к печати: 28.05.2015 г