

УДК 691.327.32

ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ТЕС В БУДІВНИЦТВІ

САВИЦЬКИЙ М. В.^{1*}, д.т.н, проф.,
 СОКОЛОВ І. А.^{2*}, д.т.н, проф.,
 СТОРОЖУК М. А.^{3*}, д.т.н, проф.,
 АББАСОВА А. Р.^{4*}, асп.

^{1*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва і 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

^{2*} Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва і архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

^{3*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва і архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-07, e-mail: storozhukpsacea@gmail.com, 0000-0002-3132-8864

^{4*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва і 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. Мета. Розробка науково-технічних основ виробництва і використання вібровакуумованих золобетонів на основі лежалої золи. Це забезпечить підвищення надійності технології і техніко-економічної ефективності виробів з таких бетонів, сприятиме інтенсифікації технологічних процесів на підприємствах будіндустрії, отриманню золобетонів високої міцності і довговічності. **Методика.** Застосована нова технологія приготування золобетонної суміші, що зводиться до наступного. У роторному змішувачі готують зольний шлам з водозольним співвідношенням 0,5. Потім в приготований шлам дозують цемент і при необхідності додаткову кількість води, готують золобетонну суміш необхідної пластичності. При формуванні виробів з такої суміші методом вібровакуумування зайва вода замішування видаляється. У результаті цього отримують добре ущільнений золобетон з високою міцністю в віці 28 діб. **Результати.** Вперше доведена висока ефективність вібровакуумної обробки золобетонних сумішей. Встановлено, що вакуумзолобетон в початкові строки твердне значно швидше, ніж віброущільнений золобетон з рухомою або жорсткою суміші. У віці 28 діб міцність вакуумзолобетону в 2 рази вище міцності віброущільненого золобетону з рухомою суміші. Вібровакуумування дозволяє значно знизити усадку і набухання в 1,5...2 рази. **Наукова новизна.** Золобетонна суміш, що піддається вакуумуванню (вібровакуумуванню), має оптимальний склад по рухливості, при якому забезпечується найкраще ущільнення і, відповідно, найбільша міцність вакуумзолобетону при заданій витраті цементу. **Практична значимість.** Використання наукових результатів сприяє масовому застосуванню золи ТЕС у будівництві, одержанню виробів з вакуумзолобетонів низької вартості з високими фізико-механічними властивостями. **Висновок.** Вперше доведена висока ефективність вібровакуумної обробки золобетонних сумішей. Встановлено, що вакуумзолобетон в початкові строки твердне значно швидше, ніж віброущільнений золобетон з рухомою або жорсткою суміші. У перші 1...3 доби міцність вакуумзолобетону в 3...4 рази більше ніж у віброущільненого. У віці 28 діб міцність вакуумзолобетону в 2 рази вище міцності віброущільненого золобетону з рухомою суміші. Вібровакуумування дозволяє значно знизити усадку і набухання в 1,5...2 рази. Це свідчить про більшу довговічність вакуумзолобетонів в порівнянні з віброущільненими.

Ключові слова: зола; золобетон; віброущільнення; вібровакуумування; міцність; усадка; набухання

ЭФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ ТЭС В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

САВИЦКИЙ Н. В.^{1*}, д.т.н, проф.,
 СОКОЛОВ И. А.^{2*}, д.т.н., проф.,
 СТОРОЖУК Н. А.^{3*}, д.т.н, проф.,
 АББАСОВА А. Р.^{4*}, асп.

^{1*} 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

^{2*} Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

^{3*} Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-07, e-mail: storozhukpsacea@gmail.com, 0000-0002-3132-8864

^{4*} 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. Цель. Разработка научно-технических основ производства и использования вибровакуумированных золобетонов на основе лежалой золы. Это обеспечит повышение надежности технологии и технико-экономической эффективности изделий из таких бетонов, будет содействовать интенсификации технологических процессов на предприятиях стройиндустрии, получению золобетонов высокой прочности и долговечности. **Методика.** Применена новая технология приготовления золобетонной смеси, что сводится к следующему. В роторном смесителе готовят зольный шлам с водозольным соотношением 0,5. Затем в приготовленный шлам дозируют цемент и при необходимости дополнительное количество воды, приготавливают золобетонную смесь необходимой пластичности. При формировании изделий из такой смеси методом вибровакуумирования излишняя вода затвердения удаляется. В результате этого получают хорошо уплотненный золобетон с высокой прочностью в возрасте 28 суток. **Результаты.** Впервые доказана высокая эффективность вибровакуумной обработки золобетонных смесей. Установлено, что вакуумзолобетон в начальные сроки твердеет значительно быстрее, чем виброуплотненный золобетон из подвижной или жесткой смеси. В возрасте 28 суток прочность вакуумзолобетона в 2 раза выше прочности виброуплотненного золобетона из подвижной смеси. Вибровакуумирование позволяет значительно снизить усадку и набухание в 1,5...2 раза. **Научная новизна.** Золобетонная смесь, подвергаемая вакуумированию (вибровакуумированию), имеет оптимальный состав по подвижности, при котором обеспечивается наилучшее уплотнение и, соответственно, наибольшая прочность вакуумзолобетона при заданном расходе цемента. **Практическая значимость.** Использование научных результатов способствует массовому применению золы ТЭС в строительстве, получению изделий из вакуумзолобетонов низкой стоимости с высокими физико-механическими свойствами. **Вывод.** Впервые доказана высокая эффективность вибровакуумной обработки золобетонных смесей. Установлено, что вакуумзолобетон в начальные сроки твердеет значительно быстрее, чем виброуплотненный золобетон из подвижной или жесткой смеси. В первые 1...3 суток прочность вакуумзолобетона в 3...4 раза больше чем у виброуплотненного. В возрасте 28 суток прочность вакуумзолобетона в 2 раза выше прочности виброуплотненного золобетона из подвижной смеси. Вибровакуумирование позволяет значительно снизить усадку и набухание в 1,5...2 раза. Это свидетельствует о большей долговечности вакуумзолобетонов в сравнении с виброуплотненными.

Ключевые слова: зола; золобетон; виброуплотнение; вибровакуумирование; прочность; усадка; набухание

THE EFFECTIVE METHOD TO USE THE ASH OF THERMAL POWER PLANTS IN CONSTRUCTION

SAVITSKIY N. V.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
SOKOLOV I. A.^{2*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
STOROZHUK N. A.^{3*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
ABBASOVA A. R.^{4*}, Postgrad. Stud.

^{1*} 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, tel.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

^{2*} Department of Construction Production Technology, State Higher Education Establishment "Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

^{3*} Department of Technology of Building Materials, Products and Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str, Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: storozhukpsacea@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3132-8864

^{4*} 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, tel.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: abbasova003@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9643-5305

Summary. Purpose. The developing of the scientific and technological base of vibrovacuumized ash concretes on the basis of the stale ash. It will improve the reliability of the technology and the technical and economic efficiency of these concrete products, contribute to the intensification of technological processes at the enterprises of the construction industry, to high strength and durability of ash concretes. **Methods.** New technology of preparation of ash concrete mix was applied, that is as follows. To prepare ash slurry (water-ash ratio of 0.5) in the rotary mixer. Then, cement and optionally additional water is metered into the prepared slurry and make ash concrete mix with required plasticity. During the molding of products from such mix by vibrovacuumizing the excess tempering water is removed. It results in a well compacted ash concrete with high strength at age of 28 days. **Results.** For the first time high efficiency of vibrovacuumizing of ash concrete mixes is proved. It is established that vacuum ash concrete hardens much faster in initial terms than vibrocompacted ash concrete made from mobile or stiff mix. At the age of 28 days strength of

vacuum ash concrete is in 2 times higher than strength of vibrated ash concrete made from mobile mixes. Vibrovacuumizing significantly reduces shrinkage and swelling in 1.5 ... 2 times. **Scientific novelty.** Ash concrete mix, which is compacted by vacuumizing (vibrovacuumizing), has an optimal composition for mobility, which provide the best compaction and, accordingly, the greatest strength of vacuum ash concrete at a given cement consumption. **Practical significance.** Application of scientific results contributes to the mass use of fly ash of thermal power plants in construction, obtaining products from vacuum ash concrete with low cost, high physical and mechanical properties. **Conclusion.** For the first time high efficiency of vibrovacuumizing of ash concrete mixes is proved. It is established that vacuum ash concrete hardens much faster in initial terms than vibrocompacted ash concrete made from mobile or stiff mix. In the first 1...3 days strength of vacuum ash concrete is in 3...4 times more than vibrocompacted. At the age of 28 days strength of vacuum ash concrete is in 2 times higher than strength of vibrated ash concrete made from mobile mixes. Vibrovacuumizing makes it possible to reduce shrinkage and swelling in 1.5...2 times. It indicates greater durability of vacuum ash concrete compared to vibrocompacted.

Keywords: ash; ash-concrete; vibrocompaction; vibrovakuumizing; strength; shrinkage; swelling

Постановка проблемы.

Производственный опыт использования золы ТЭС в строительстве выявил ряд существенных недостатков, которые сдерживают применение золы в технологии бетонов, хотя давно известно, что зола как легкий заполнитель намного дешевле даже природного песка. Особенно это касается лежалой золы из отвалов (хранилищ).

Практикой доказано, что для строителей 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. Известно, что зола гидроудаления тепловых электростанций имеет различный зерновой состав в разных местах отвала, постоянно меняющуюся влажность в течении года, со временем образуются агрегаты. Кроме того в любой золе, даже сверхкислой, имеется некоторое количество извести, которая за счет карбонизации и при наличии влаги со временем твердеет. В результате этого постоянно образуются известково-зольные 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.

Кроме этого, убедительно доказано, что бетон и строительные растворы, имеющие в своем составе золу, в первый период твердения значительно медленнее набирают прочность чем обычные бетоны.

Большое перенасыщение свежесушеного золобетона водой обуславливает его более высокую пористость, низкие прочность и морозостойкость. Высокая водопотребность золобетонных смесей особенно влияет на его усадку, вызывающую значительные напряжения при твердении и высыхании бетонов. Кроме того повышенные расходы золы в бетонах часто приводят к весьма нежелательным явлениям — появлению усадочных трещин, снижение долговечности и т.п.

Решение перечисленных вопросов будет способствовать значительному повышению физико-механических свойств золобетонов.

Анализ публикаций.

Выполненный отечественными и зарубежными учеными обширный объем научных исследований, а так же имеющийся производственный опыт позволяют считать, что соответствующая требованиям стандарта зола предоставляет собой полифункциональный компонент бетона [1-4].

В настоящее время в большом объеме используют золу как мелкий заполнитель. Существенна ее роль как заполнителя в легких бетонах, где обычно золой заменяют более тяжелый кварцевый песок, что позволяет снизить плотность бетона. В керамзитобетоне, содержащему смесь керамзитового и кварцевого песков, замена последнего золой снижает плотность бетона в среднем на 100 кг/м³.

Применяют золу как активную минеральную добавку. Это свойство в значительной мере определяется ее фазовым (более 80 % стеклофазы) и химическим составами. По данным рентгеноструктурного анализа, с увеличением содержания золы в бетонах и растворах возрастает количество низкоосновных гидроалюмосиликатов и гидросиликатов кальция — продуктов взаимодействия золы с гидратом окиси кальция. Возможность использования золы как активной минеральной добавки отражена в ряде нормативных документов.

Золу используют как пластификатор. Это свойство связываемое с шарообразной формой и гладкой поверхностью ее зерен, в какой-то мере аналогично пластифицирующему эффекту воздухововлекающих добавок.

Пластифицирующий эффект золы способствует также повышению связности бетонных смесей и, что особенно важно, смесей высокой подвижности. Указанное свойство проявляется и в растворах: улучшается их удобоукладываемость и повышается нерасслаиваемость. Пластифицирующий эффект золы в бетонных и растворных смесях повышается с уменьшением расхода цемента.

Применяют золу и как тонкомолотую добавку — наполнитель. Положительный эффект — это снижение расхода цемента высоких марок при производстве бетонов низких классов и низкомарочных строительных растворов, повышение плотности бетонов, увеличение их водонепроницаемости. При возведении массивных конструкции существенным в

этом случае является более низкое тепловыделение при твердении бетона.

Технико-экономический эффект определяется не только улучшением физико-механических свойств бетона и экономией цемента. Немаловажное 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 [5-7].

Однако, как отмечалось ранее, опыт использования зол ТЭС в строительстве выявил ряд существенных недостатков, которые сдерживают применение золы в технологии бетонов.

В настоящее время формуют золобетонные изделия трамбованием, виброуплотнением, прессованием, вибропрессованием и вибротрамбованием. Особенность формирования изделий (стенowych камней и блоков) заключается в том, что они сразу после уплотнения золобетонной смеси освобождаются от боковой опалубки. Самая незначительная передозировка воды затворения вызывает деформацию изделий после их формирования и распалубки, образуются оплывы, происходят в некоторых случаях разрушения свежесформованных изделий.

Использование жестких золобетонных смесей так же не гарантирует надежную немедленную распалубку из-за большой упругости таких смесей. В этом случае низкая надежность получения четких граней и углов, очень часто возникают осыпания, трещины, каверны и расслоения.

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

Цель работы. Разработка научно-технических основ производства и использования вибровакуумированных золобетонов на основе лежалой золы. Это обеспечит повышение надежности технологии и технико-экономической эффективности изделий из таких бетонов, будет содействовать интенсификации технологических процессов на предприятиях стройиндустрии, получению золобетонов высокой прочности и долговечности при умеренных расходах цемента.

Основной материал.

При оптимизации состава золобетонной смеси следует учитывать, что золобетон занимает особое положение среди других мелкозернистых бетонов, поскольку размер частиц золы мало отличается от размера частиц цемента. В результате этого изменение соотношения между золой и цементом не

позволяет улучшить зерновой состав золобетона. Таким образом, в отличие от обычных бетонов (где между частицами заполнителей имеются достаточно крупные пустоты, которые заполняются цементным раствором), в золобетоне такой возможности нет.

Все эти особенности золы в отвалах, зерновой состав, ее огромная удельная поверхность должны учитываться при оптимизации состава золобетонной смеси, предназначенной для формирования изделий вакуумированием.

При выполнении исследований нами учтены разработки японских ученых Кокубу М. и Ямада Д. [8, 9]. Они для повышения эффективности использования золы предложили ее предварительно перемешивать с водой до образования шлама с отношением воды к золе около 50 %. Это повысило однородность свойств бетона и облегчило контроль его качества. При этом в этом случае может быть применена даже смесь двух различных видов золы. Поскольку подобным способом можно подготавливать золы, подвергающиеся во времени схватыванию и уплотнению, имеющие в составе агрегаты, микро- и макроконгломераты, предлагаемый технологический прием имеет очень большое практическое значение. Кроме того, при этом заметно улучшается удобообрабатываемость золобетонных смесей и долговечность бетона. По мнению авторов указанных работ причинами улучшения удобообрабатываемости и долговечности бетона при применении так называемого «шламового метода» является разбавление водой отдельных частиц золы путем разрушения агрегатов, микро- и макроконгломератов. Кроме этого удаляется воздух, заключенный в порах между частицами золы.

Базируясь на этих результатах, предложенная нами технология приготовления золобетонной смеси сводится к следующему [10]. В роторном смесителе готовят золный шлам с водозольным соотношением 0,5 (с учетом переменной влажности золы, поступающей из отвала). Затем в приготовленный шлам дозируют цемент и при необходимости дополнительное количество воды, приготавливают золобетонную смесь необходимой пластичности. При формировании изделий из такой смеси методом вибровакуумирования излишняя вода затворения удаляется. В результате этого получают хорошо уплотненный золобетон с высокими структурной прочностью, позволяющей производить немедленную распалубку, и прочностью в возрасте 28 суток.

Ниже приведены результаты наших экспериментальных исследований по оптимизации состава золобетонной смеси для вакуумирования по предлагаемой технологии. Использовали золобетонную смесь состава 1 : 4 (цемент : зола).

За счет изменения расхода воды подвижность золобетонной смеси изменяли в широких пределах (от ОК = 2...3 см до ОК = 12...14 см). Из такой смеси формировали образцы 15×15×7 см вибровакуумированием и для сравнения

вибрационным способом (рис. 1). При формировании образцов продолжительность вакуумной обработки при разрежении 0,70...0,75 (полный вакуум принят за единицу) составляла 10 мин, при этом измеряли количество воды, которая удалялась из уплотняемой смеси. С целью разрушения направленных капилляров и сводообразований в процессе вакуумирования осуществляли кратковременное периодическое вибрирование перед которым, соответственно нашим теоретическим разработкам, величину вакуума уменьшали. Для сравнения из того же состава что вакуумзолотбетон (при том же содержании составляющих) готовили жесткую смесь, с которой вибрационным способом с пригрузом 0,006 МПа формовали такие же образцы [11].



Рис. 1. Общий вид вакуумустановки при формировании экспериментальных образцов/
General view of the vacuum machine when molding experimental samples

Полученные результаты исследований приведены в табл. 1. Из приведенных данных видно, что рациональной подвижностью золотбетонной смеси для вакуумирования является ОК = 8...10 см. При такой подвижности достигается наибольшая прочность вакуумзолотбетона. Эта прочность, по сравнению с прочностью золотбетона из пластичной бетонной смеси больше в 2 и более раз. Виброуплотненный золотбетон получен с максимальной прочностью из смеси с жесткостью 15...20 с. Следует отметить, что прочность вакуумзолотбетона на 30...40 % больше чем у виброуплотненного из жесткой смеси.

С целью выявления закономерностей роста прочности исследуемых золотбетонных во времени определяли их прочности в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток. (табл. 2). Как и следовало ожидать, наблюдается более интенсивный рост прочности вакуумзолотбетона в начальный период твердения по сравнению с виброуплотненными. Следует отметить, что через 3-е суток твердения в нормальных условиях прочность вакуумированного золотбетона в 2,5...3 раза больше виброуплотненного из подвижной бетонной смеси и на 60...70 % больше чем у золотбетона из жесткой смеси. Наблюдается интенсивное твердение вибровакuumированного

золотбетона и в возрасте 7 и 14 суток, а так же в более поздние сроки [12; 13].

Таблица 1

Плотность и прочность виброуплотненных и вибровакuumированных золотбетонных
Density and strength of vibrated and vibrovacuumized ash concrete

Вид бетонной смеси	Виброуплотненный бетон			Вибровакuumированный бетон			
	В/Ц	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Количество извлеченной воды, л/м ³	В/Ц	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа
Подвижные смеси, ОК в см:							
2...3	1,93	1586	6,2	95	1,53	1620	11,9
5...6	2,12	1577	4,9	112	1,58	1631	13,1
8...9	2,31	1569	2,9	126	1,62	1642	14,4
11...12	2,41	1560		133	1,69	1635	14,4
13...14	2,52	1553		136	1,72	1628	13,9
Жесткие смеси, жесткость в секундах							
5...6	1,53	1590	9,0				
10...15	1,46	1605	9,8				
17...20	1,40	1620	9,1				
22...25	1,33	1616	8,8				

Как и в предыдущих опытах, из табл. 2 видно, что в возрасте 28 суток прочность вибровакuumированного золотбетона в 2 раза больше, чем виброуплотненного из подвижной смеси, и существенно больше, чем виброуплотненного бетона из жесткой смеси.

Таблица 2

Изменение прочности золотбетонных во времени
Change of ash concrete strength in time

Вид золотбетона	Прочность золотбетонных (МПа в зависимости от времени твердения (сутки))				
	1	3	7	14	28
Вибровакuumированный	2,5	7	9,3	12	14,9
Виброуплотненный из жесткой смеси	1,3	3	6	7,5	9,3
Виброуплотненный из подвижной смеси	0,5	2	4	5	7

С учетом производственного опыта по нашему мнению большой научный и практический интерес представляют сравнительные исследования усадки и набухания виброуплотненных и вакуумированных золотбетонных, состоящих из очень дисперсных материалов, имеющих большую удельную поверхность. Такие сравнительные исследования выполняются впервые. Они 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 [14].

Измерение усадки и набухания различных видов золотбетонных проведено на образцах размером 300×100×60 мм на протяжении 120 суток. Длину образцов измеряли при помощи оптического компаратора ИЗА-2 (рис. 2). Для этого после

уплотнения золобетонной смеси на поверхность отформованных образцов прикрепляли латунные пластинки с нанесенными на них рисками, по которым и проводили отсчеты. Все образцы освобождали из форм через сутки после формования. Часть образцов хранили в воздушно-сухих условиях (относительная влажность 50...60 %), другую часть – через сутки после формования помещали в воду. Измерение размеров всех образцов начато через сутки после формования.

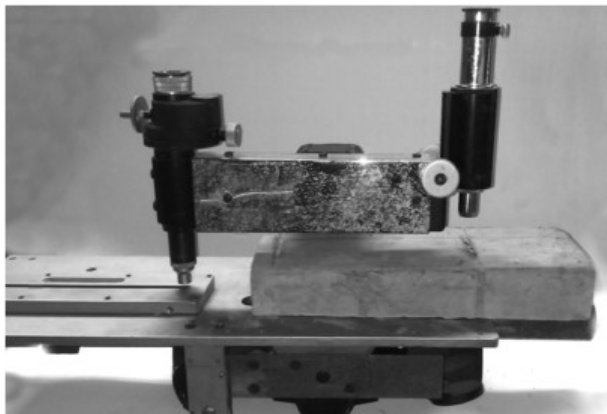


Рис. 2. Измерение деформаций (усадки и набухания) золобетонов/
Measurement of deformation (shrinkage and swelling) of ash concrete

Результаты опытов приведены на рис. 3. Как и следовало ожидать наибольшие показатели усадки (0,654 мм/м) у золобетонов из подвижной золобетонной смеси. Усадка бетона из виброуплотненной жесткой смеси является значительно меньшей. Вакуумзолобетон характеризуется наименьшей усадкой из всех рассматриваемых видов бетонов. Величина набухания вакуумзолобетона в воде за 120 суток находится в пределах 0,248 мм/м, что значительно меньше набухания виброуплотненного бетона из жесткой смеси, и в 1,5 раза меньше, чем для бетона из подвижной золобетонной смеси.

Высокие показатели по усадке и набуханию вакуумзолобетона являются косвенной характеристикой его долговечности, предоставляют возможность изготавливать конструкции из золобетонов значительных размеров, что до настоящего времени было большой проблемой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Лещинский М. Ю. О применении золы-уноса в бетонах / М. Ю. Лещинский // Бетон и железобетон. – 1987. – № 1. – С. 19-21.
3. Idorn G. M. State of the Art for Fly Ash Uses in Concrete / G. M. Idorn, K. R. Henriksen // Cement and Concrete Research. – 1984. – Vol. 14, № 4. – P. 463-470.
4. Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete / M. D. A. Thomas, M. H. Shehata, S. G. Shashiprakash, D. S. Hopkins, K. Cail // Cement and Concrete Research. – 1999. – Vol. 29. – P. 1207-1214.
5. Высоцкий С. А. Экономия портландцемента при изготовлении бетонов с добавкой золы ТЭС / С. А. Высоцкий, В. П. Смирнов // Бетон и железобетон. – 1987. – № 1. – С. 17-19.

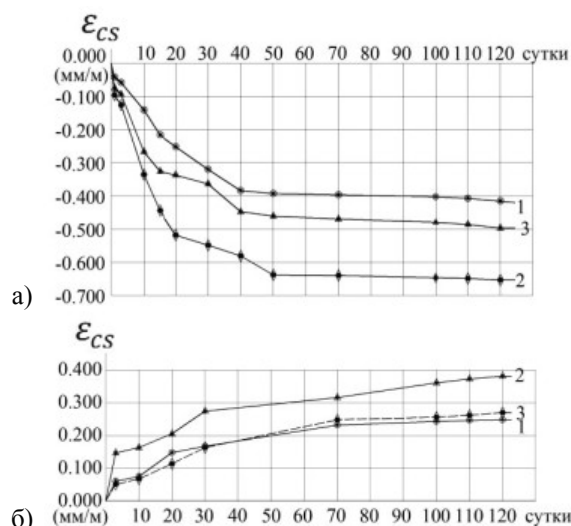


Рис. 3. Усадка и набухание золобетонов в зависимости от продолжительности и условий твердения:

- а – при хранении образцов в воздушно сухих условиях;
б – то же в воде; 1 – вибровакуумированный золобетон; 2 – то же виброуплотненный из подвижной смеси; 3 – то же виброуплотненный из жесткой смеси /
Shrinkage and swelling of ash concrete, depending on the duration and conditions of hardening:
а – keeping samples in air-dry conditions; б – the same, in water; 1 – vibrovacuumized ash concrete; 2 – the same, vibrocompacted from a mobile mix; 3 – the same, vibrated from stiff mix

Выводы.

Впервые доказана высокая эффективность вибровакуумной обработки золобетонных смесей. Установлено, что вакуумзолобетон в начальные сроки твердеет значительно быстрее, чем виброуплотненный золобетон из подвижной или жесткой смеси. В первые 1...3 суток прочность вакуумзолобетона в 3...4 раза больше чем у виброуплотненного. В возрасте 28 суток прочность вакуумзолобетона в 2 раза выше прочности виброуплотненного золобетона из подвижной смеси. Вибровакуумирование позволяет значительно снизить усадку и набухание в 1,5...2 раза. Это свидетельствует о большей долговечности вакуумзолобетонов в сравнении с виброуплотненными.

6. Левит Г. О. Техничко-экономические проблемы использования золошлаковых отходов тепловых электростанций в комплексном гидротехническом строительстве / Г. О. Левит // Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве. – Москва : Стройиздат, 1972. – С. 137-145.
7. Hyland E. J. Practical Use of Fly Ash in Concrete / E. J. Hyland // Construction Specifier. – 1970. – Vol. 23, № 2. – P. 39-42.
8. Кокубу М. Зола и зольные 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 и А. И. Бойковой. – Москва : Стройиздат, 1973. – С. 405-416.
9. Кокубу М. Цементы с добавкой золы-уноса (основной доклад) / М. Кокубу, Д. Ямада // Шестой международный конгресс по химии цемента. Труды. В 3-х т.; Под общ.ред. А.С. Болдырева. Т.3. Цементы и их свойства. – Москва : Стройиздат, 1976. – С. 83-94.
10. Пат. 99768 Україна, МПК C04B 7/28. Спосіб виготовлення виробів із золобетонних сумішей / Савицький М.В., Павленко Т.М., Аббасова А.Р.; заявник і патентовласник ДВНЗ «Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури». – у 2014 13684; заявл. 22.12.2014; опубл. 25.06.2015. Бюл. № 12. – 4 с.
11. Приходько А. П. Теоретические исследования по вакуумированию бетонных смесей при изменении разрежения в вакуумполости вакуумщита по гармоническому закону / А. П. Приходько, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д. : ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – Вып. 65. – С. 483-491.
12. Савицкий Н. В. Прочность и морозостойкость золобетонов / Н. В. Савицкий, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д. : ПГАСА, 2014. – Вып. 75. – С. 204-209.
13. Савицкий Н. В. Рациональное использование золошлаковых смесей, зол и шлаков ТЭС в технологии бетонов / Н. В. Савицкий, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Бетон и железобетон. – Москва : 2014. – № 3. – С. 28-31.
14. Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетонов / Н. А. Мощанский. – Москва : Госстройиздат, 1951. – 176 с.

REFERENCES

1. Volzhenskiy A. B., Ivanov I. A., Vinogradov B. N. *Primenenie zol i toplivnykh shlakov v proizvodstve stroitelnykh materialov* [Application ashes and fuel slag in the production of building materials] Moscow, Stroyizdat, 1984. 253 p.
2. Leschinskiy M. Yu. O primeneni zolyi-unosa v betonah [About application of fly ash in concrete] *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1987, issue 1, pp. 19-21.
3. Idorn G. M. State of the Art for Fly Ash Uses in Concrete / G. M. Idorn, K. R. Henriksen // *Cement and Concrete Research*. – 1984. – Vol. 14, № 4. – P. 463-470.
4. Use of Ternary Cementitious Systems Containing Silica Fume and Fly Ash in Concrete / M. D. A. Thomas, M. H. Shehata, S. G. Shashiprakash, D. S. Hopkins, K. Cail // *Cement and Concrete Research*. – 1999. – Vol. 29. – P. 1207-1214.
5. Vvisotskiy S. A. Ekonomiya portlandtsementa pri izgotovlenii betonov s dobavkoy zolyi TES [The savings of Portland cement in the manufacture of concrete with the addition of ash thermal power plants]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1987, issue 1, pp. 17-19.
6. Levit G. O. Tehnicho-ekonomicheskie problemyi ispolzovaniya zoloshlakovykh othodov teplovykh elektrostantsiy v kompleksnom gidrotehnicheskomo stroitelstve [Technical and economic problems of use of ash and slag waste thermal power plants in complex hydraulic engineering] *Ispolzovanie novykh legkikh materialov i othodov proizvodstva v stroitelstve* [The use of new lightweight materials and waste products in construction] 1972, pp. 137-145.
7. Hyland E. J. Practical Use of Fly Ash in Concrete / E. J. Hyland // *Construction Specifier*. – 1970. – Vol. 23, № 2. – P. 39-42.
8. Kokubu M. Zola i zolnyie tsementyi (osnovnoy doklad) [Ash and ash-cements (primary report)] *Pyatyy mezhduarodnyy kongress po himii tsementa* [7-11 oktyabrya 1968 g., Tokio] [The Fifth International Congress of cement chemistry (7-11 October 1968)] Tokyo, 1973, pp. 405-416.
9. Kokubu M., Yamada D. Tsementyi s dobavkoy zolyi-unosa (osnovnoy doklad) [Cement containing of fly ash (the main report)] *Shestoy mezhduarodnyy kongress po himii tsementa* [Sixth International Congress of cement chemistry] 1976, pp. 83-94.
10. Savitskiy M.V., Pavlenko T.M., Abbasova A.R. Sposib виготовлення виробів із золобетонних сумішей [Method of manufacturing products from zolobetonnykh mixtures] Patent UA, no. u 2014 13684, 2014.
11. Prihodko A. P., Pavlenko T. M., Abbasova A. R. Teoreticheskie issledovaniya po vakuumirovaniyayu betonnykh smesey pri izmenenii razrezheniya v vakuumpolosti vakuumshchita po garmonicheskomo zakonu [Theoretical studies on the evacuation of concrete mixes when harmonically changing resolution in vacuum-chamber of vacuum-shield]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials, mechanical engineering], 2012, issue 65, pp. 483-491.
12. Savitskiy N. V. Pavlenko T. M., Abbasova A. R. Prochnost i morozostoykost zolobetonov [The strength and frost resistance of ash-concrete]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials, mechanical engineering], 2014, issue 75, pp. 204-209.
13. Savitskiy N. V., Pavlenko T. M., Abbasova A. R. Ratsionalnoe ispolzovanie zoloshlakovykh smesey, zol i shlakov TES v tehnologii betonov [Rational use of ash mixtures of TPP ash and slag in concrete technology]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 2014, issue 3, pp. 28-31.
14. Moschanskiy N. A. *Plotnost i stoykost betonov* [The density and durability of concrete.]. Moscow, Gosstroyizdat, 1951. 176 p.