

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ / CONSTRUCTION MATERIALS**

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2023.1.32.002>

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕСЧАНОГО И ВОЗВРАТНОГО ШЛАМОВ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЗОБЕТОНА**

Научная статья

**Баранов А.А.<sup>1\*</sup>, Шанин А.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7358-5711;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5435-0087;

<sup>1, 2</sup> ООО ПК «Куби Блок Егорьевский», Егорьевск, Россия

\* Корреспондирующий автор (baranov.gazobeton[at]list.ru)

**Аннотация**

При производстве газобетона в состав сырьевой смеси, помимо вяжущих и газообразователя, входят песчаный и возвратный шламы. Их качественные характеристики определяют как свойства исходных компонентов, так и технологические особенности получения. Для шламов важными параметрами являются: удельная поверхность, седиментационная устойчивость, плотность, структура. Для возвратного шлама дополнительно активность по СаО и рН. В статье приведены зависимости удельной поверхности и седиментационной устойчивости песчаного шлама от исходной влажности кварцевого песка и от содержания в нем глинистых, илистых и пылевидных частиц. У возвратного шлама изложены зависимости активности по СаО от плотности выпускаемой продукции и технологии производства, а также седиментационной устойчивости от его плотности и длительности наблюдения. Полученные значения позволяют спрогнозировать особенности технологии получения и применения модифицированного кремнеземистого компонента.

**Ключевые слова:** газобетон, кремнеземистый компонент, песчаный шлам, возвратный (обратный) шлам, удельная поверхность, дисперсность, седиментационная устойчивость.

**EVALUATION OF THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF SAND AND RETURN SLUDGE USED  
IN THE PRODUCTION OF AERATED CONCRETE**

Research article

**Baranov A.A.<sup>1\*</sup>, Shanin A.O.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7358-5711;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5435-0087

<sup>1, 2</sup> LLC PC "Kubi Block Yegoryevsky", Yegoryevsk, Russia

\* Corresponding author (baranov.gazobeton[at]list.ru)

**Abstract**

In the production of aerated concrete, the composition of the raw mixture, in addition to binders and a gas-forming agent, includes sand and return sludge. Their qualitative characteristics determine both the properties of the initial components and the technological features of their production. For slurries the important parameters are: specific surface area, sedimentation stability, density, structure. For the return sludge the activity of CaO and pH are additionally. The article presents the dependences of the specific surface and sedimentation stability of sand sludge on the initial moisture content of quartz sand and on the content of clay, silty and flour particles in it. The dependences of the CaO activity on the density of the products and production technology, as well as sedimentation stability on its density and duration of observation are described for the return sludge. The obtained values allow us to predict the features of the technology for obtaining and using a modified silica component.

**Keywords:** aerated concrete, silica component, sand sludge, return (reverse) sludge, specific surface area, dispersion, sedimentation stability.

**Введение**

Требования к основным компонентам, применяемым при производстве ячеистых бетонов автоклавного твердения, установлены ГОСТом 31359-2007 и инструкцией СН 277-80 [1], [2]. При этом характеристики приведены для исходных материалов (вяжущее, кремнеземистый компонент, газообразователь и добавки). Однако на предприятиях отрасли непосредственно в сырьевой смеси используются компоненты в виде продуктов промежуточной стадии переработки – песчаный и возвратный шламы. Безусловно, их параметры определяются как качеством исходных материалов, из которых они изготавливаются, так и особенностями получения. Свойства шламовых масс широко описаны в работах Сажнева Н.П. и Мартыненко В.А. [3], [4]. Для песчаного шлама приведена удельная поверхность, которая проранжирована в зависимости от плотности выпускаемой продукции. Также зафиксированы оптимальные значения остатков по ситам. У песчаного и возвратного указаны рекомендуемые плотности шламов с расчетным содержанием твердой части и воды.

### Методы и принципы исследования

Степень измельчения песчаного и возвратного шламов оценивалась по удельной поверхности, получаемой в соответствии с требованиями работы на приборе ПСХ-12 методом газопроницаемости Козени и Кармана. Изменение активности возвратного шлама определялось методом титрования в присутствии индикатора фенолфталеина раствором HCl 1н. Седиментационная устойчивость песчаного и возвратного шламов характеризовалась динамикой изменения высоты осветленного слоя в одинаковых мерных цилиндрах при прочих равных условиях.

### Результаты и обсуждение

В ходе комплексной оценки качественных характеристик песчаного (прямого) и возвратного (обратного) шламов (ПШ и ОШ) при реализации производства газобетона на модифицированном кремнеземистом компоненте [5] перечень исследуемых свойств был расширен. Установлено влияние влажности подаваемого кварцевого песка на дисперсность получаемого ПШ при  $\rho = \text{const}$  (рис. 1).



Рис. 1 – Зависимость удельной поверхности ПШ от исходной влажности кварцевого песка

Из данных рис. 1 видно, что повышение влажности кварцевого песка с 3,2 – 5,8 % до 6,0 – 9,8 % способствует росту удельной поверхности ПШ в среднем на 15 %. Это вызвано снижением количества подаваемой на помол воды в условиях сохранения неизменной плотности ПШ, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени нахождения материала в рабочей камере шаровой мельницы. Соответственно, частицы кварцевого песка дольше подвержены процессу измельчения, и удельная поверхность при этом закономерно повышается. Данное наблюдение справедливо для открытого способа помола, при котором идет непрерывная загрузка материала (кварцевый песок, вода) и выгрузка готового ПШ.

Учитывая изменение содержания в кварцевом песке глинистых, илстых и пылевидных частиц, оценивалась седиментационная устойчивость ПШ (рис. 2).

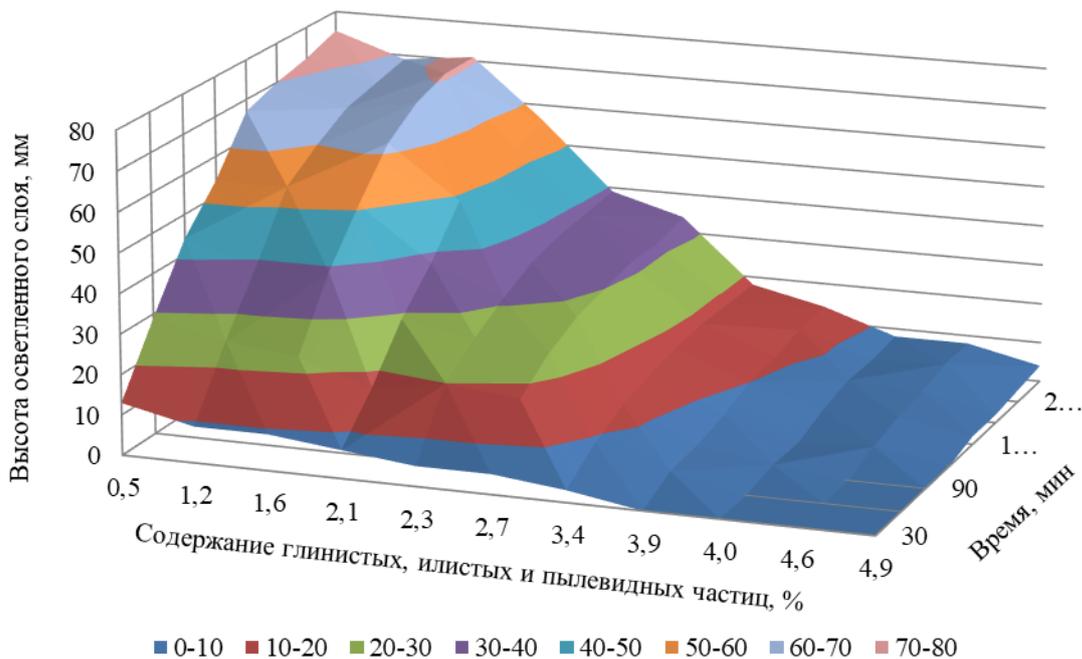


Рис. 2 – Зависимость высоты осветленного слоя ПШ от содержания глинистых, илстых и пылевидных частиц в кварцевом песке и от времени наблюдения

Глинистые включения имеют пластинчатую и игольчатую форму частиц, размер которых значительно меньше, чем у кварцевого песка. Пылевидные и илистые занимают промежуточное значение по гранулометрическому составу [6]. Установлено, что увеличение содержания мелкодисперсной фракции в общем объеме ПШ способствует снижению его расслоения. Объяснением служит равномерное распределение мелких частиц вокруг более крупных с задержкой на развитой поверхности водных пленок, что препятствует коагуляции системы. Следовательно, наблюдается повышение седиментационной устойчивости. Однако максимально допустимое количество глинистых, илистых и пылевидных частиц ограничено 3 %, а монтмориллонита не более 1 – 1,5 % [1], [2], [3], [4]. Это требование продиктовано тем, что глинистые минералы имеют свойство набухать. Получаемый в таком случае ПШ становится гуще. В результате ухудшается его гомогенизация и транспортирование. Также примеси в кварцевом песке препятствуют вяжущим свойствам цемента в сырьевой смеси, что существенно ухудшает физико-механические свойства готового ячеистого бетона.

ОШ образуется на этапе резки массивов-сырцов, набравших определенную пластическую прочность. Он состоит из продуктов гидратации и взаимодействия начальных компонентов, которые уже вступили в химические реакции между собой и частично прореагировали [7]. Согласно Кафтаевой М.В. [8], определение и учет активности по СаО ОШ необходимы при расчете состава ячеистобетонной смеси. На рис. 3 приведены данные, полученные на технологических линиях ООО «Газобетон» г. Иваново (литьевая технология) и ООО ПК «Куби Блок Егорьевский» г. Егорьевск (ударная технология).

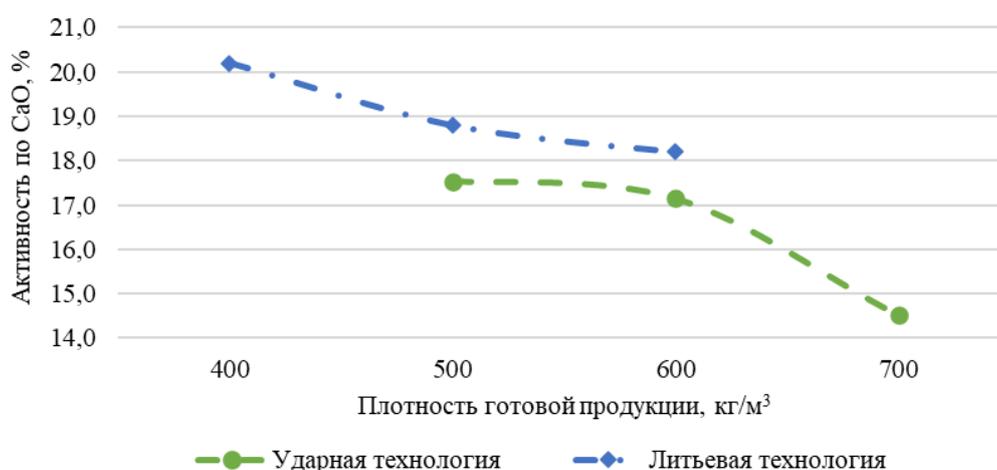


Рис. 3 – Активность по СаО «свежего» ОШ

Установлено, что активность ОШ зависит от:

- начальной заданной активности по СаО ячеистобетонной смеси;
- степени измельчения исходных компонентов и объема жидкой фазы;
- длительности протекания реакций взаимодействия.

Оценивая влияние времени усреднения ОШ (без подпитки «свежей» обрезью горбушки) на изменение его активности, выявлено, что в период от 1 до 3 часов идет планомерное снижение значений содержания СаО до установления стабильного показателя. Дальнейшее изменение активности ОШ от времени усреднения незначительно, и им можно пренебречь. Очевидно, что для достижения максимального эффекта применения ОШ в сырьевой смеси:

- с целью экономии вяжущих при условии сохранения требуемой начальной активности по СаО необходимо немедленное его использование;
- с целью стабилизации формируемой на стадии роста поровой структуры необходимо его использование после 3 – 4 часов усреднения.

Седиментационная устойчивость ОШ особенно важна в первые 60 – 90 минут (ударная технология) и 90 – 120 минут (литьевая технология) поскольку именно в это время на этапе заливки и созревания газобетонной смеси формируется макроструктура ячеистого бетона. Аналогичные выводы отмечены в работе Рудченко Д.Г. [9]. На рис. 4 приведено изменение высоты осветленного слоя ОШ.

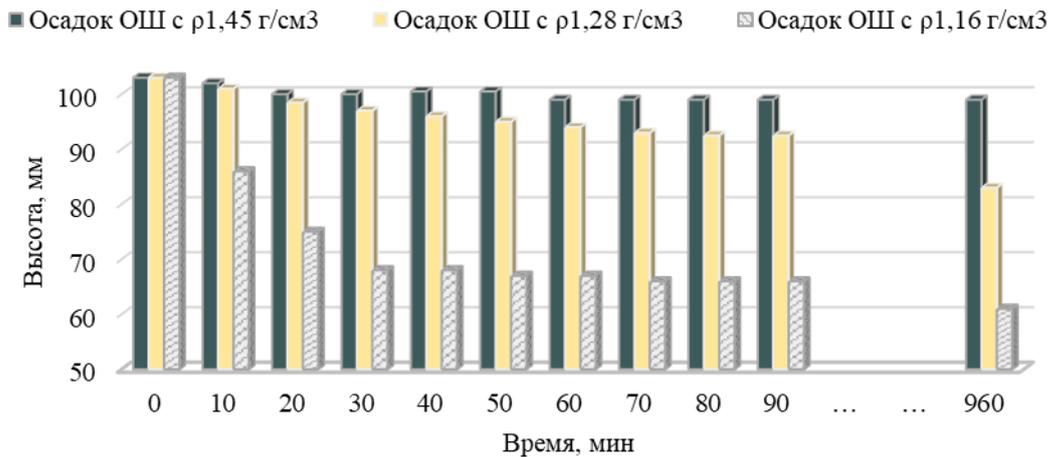


Рис. 4 – Зависимость высоты осветленного слоя ОШ от его плотности и длительности наблюдения

Для точной интерпретации результатов исследования дополнительно было установлено содержание твердой части и воды в ОШ (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание твердой части и воды в ОШ в зависимости от плотности

| Плотность ОШ, г/см <sup>3</sup> | 1,45  | 1,28  | 1,16  |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Содержание твердого вещества, % | 52,01 | 36,66 | 23,12 |
| Содержание воды, %              | 47,99 | 63,34 | 76,88 |

Примечание: истинная плотность 2,48 г/см<sup>3</sup>

Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой дисперсности ОШ, что подтверждается удельной поверхностью 6145 – 7670 см<sup>2</sup>/г и средним размером частиц от 2,9 до 3,9 мкм (зависит от технологии и плотности выпускаемой продукции). Такой результат достигается за счет роста скорости гидратации СаО в массиве-сырце и далее в обрезках горбушки при температуре выше 60 С. Однако явно прослеживается значительное ухудшение однородности (рис. 4) при снижении плотности ОШ – изменении соотношения твердого вещества и воды в системе (таблица 1).

ОШ является суспензией – дисперсной системой с жидкой дисперсионной средой и твердой диспергированной (дисперсной) фазой. Его водородный показатель находится в пределах 9 – 10, и среда является щелочной. На этапе усреднения в шламбассейне диаметром 5 – 8 м (зависит от производителя оборудования и/или типа мешалки) при постоянном перемешивании ОШ взаимодействует с СО<sub>2</sub> воздуха. Постепенная карбонизация минералов обеспечивает образование положительного заряда. Планомерное сокращение доли активного оксида кальция в первые 1 – 3 часа сопровождается дальнейшим уменьшением размеров частиц дисперсной фазы и появлением прослойки дисперсионной среды в виде тонких сольватных оболочек. Их толщина постепенно уменьшается и больше сказывается действие межмолекулярных сил. ОШ – система с коагуляционной структурой. Характерным является старение (созревание) во времени, которое проявляется в постепенном упрочнении структуры, ее сжатии и высвобождении части жидкости из структурной сетки, что может привести к своеобразному разделению системы на две фазы [10].

### Заключение

Оценка качественных характеристик песчаного и возвратного шламов позволила предопределить свойства получаемого модифицированного кремнеземистого компонента и правильно спланировать дальнейшую экспериментальную и практическую работу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Список литературы / References

- ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия. — Введ. 2009-01-01. — М.: МНТКС, 2008. — 12 с.
- Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80 // Государственный комитет СССР по делам строительства. — Госстрой СССР, 2001. — С. 4-9.
- Сажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика / Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич [и др.] — Минск: Стринко, 2010. — 464 с.
- Мартыненко В.А. Справочник специалиста лаборатории завода по производству газобетонных изделий / В.А Мартыненко, Н.В. Морозова. — Днепропетровск: ПГАСА, 2009. — 308 с.

5. Баранов А.А. Газобетон на модифицированном кремнеземистом компоненте / А.А. Баранов, М.В. Акулова // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера: материалы межвузовской практической конференции аспирантов и студентов (с международным участием). — Иваново, 2016. — С. 470-471.

6. Абуханов А.З. Механика грунтов: учебное пособие / А.З. Абуханов. — 2-е изд. — Москва: ИНФРА-М, 2021. — 336 с.

7. Баранов А.А. Роль обратного шлама, как сырьевого компонента в оптимизации состава газобетона / А.А. Баранов, А.Н. Колеров, М.В. Акулова // Информационная среда вуза: материалы XXI Международной научно-технической конференции. — Иваново, 2014. — С. 223-227.

8. Кафтаева М.В. Теоретическое обоснование основных переделов технологии производства ячеистых силикатных материалов автоклавного твердения: дис. док. техн. наук: 05.17.11 / Кафтаева Маргарита Владиславовна. — Белгород, 2013. — 215 с.

9. Рудченко Д.Г. Газобетон автоклавного твердения с повышенным коэффициентом конструктивного качества: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Рудченко Дмитрий Геннадьевич. — Киев, 2012. — 175 с.

10. Немцева М.П. Реологические свойства коллоидных систем: учебное пособие / М.П. Немцева, Д.В. Филипов, А.А. Федорова. — Иваново: Ивановский гос. хим.-технол. ун-т, 2016. — 61 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 31359-2007. Betony jacheistyje avtoklavnogo tverdenija. Tehnicheskie uslovija [Autoclaved cellular concretes. Technical conditions]. — Introduced. 2009-01-01– M.: INTCC, 2008. — 12 p. [in Russian]

2. Instrukcija po izgotovljeniju izdelij iz jacheistogo betona CN 277–80. [Instructions for the manufacture of cellular concrete products CN 277–80]. State Committee of the USSR for Construction Affairs; Gosstroy of the USSR, 2001. — P. 4-9 [in Russian]

3. Sazhnev N.P. Proizvodstvo jacheistobetonnyh izdelij: teorija i praktika [Production of cellular concrete products: theory and practice] / N.P. Sazhnev, V.N. Goncharik, G.S. Garnashevich [et al.]. — Minsk: Strinko, 2010. — 464 p. [in Russian]

4. Martynenko V.A. Spravochnik specialista laboratorii zavoda po proizvodstvu gazobetonnyh izdelij [Directory of the laboratory specialist of the plant for the production of aerated concrete products] / V.A. Martynenko, N.V. Morozova. — Dnepropetrovsk: PGASA, 2009. — 308 p. [in Russian]

5. Baranov A.A. Gazobeton na modifitsirovannom kremnezemistom komponente [Aerated concrete on a modified silica component] / A.A. Baranov, M.V. Akulova // Molodye uchenye – razvitiju tekstil'no-promyshlennogo klastera: materialy mezhdunarodnoj prakticheskoj konferencii aspirantov i studentov (s mezhdunarodnym uchastiem) [Young scientists – development of textile and industrial cluster: materials of the interuniversity practical conference of graduate students and students (with international participation)]. — Ivanovo, 2016. — P. 470-471 [in Russian]

6. Abuhanov A.Z. Mehanika gruntov: uchebnoe posobie [Soil mechanics: manual] / A.Z. Abuhanov. — 2<sup>nd</sup> ed. — Moscow: INFRA-M, 2021. — 336 p. [in Russian]

7. Baranov A.A. Rol' obratnogo shlama, kak syr'evogo komponenta v optimizacii sostava gazobetona [The role of reverse sludge as a raw material component in optimizing the composition of aerated concrete] / A.A. Baranov, A.N. Kolerov, M.V. Akulova // Informacionnaja sreda vuza: materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii [Information environment of the university: materials of the XXI International Scientific and Technical Conference]. — Ivanovo, 2014. — P. 223-227 [in Russian]

8. Kaftaeva M.V. Teoreticheskoe obosnovanie osnovnyh peredelov tehnologii proizvodstva jacheistyh silikatnyh materialov avtoklavnogo tverdenija [Theoretical substantiation of the main alterations of the production technology of cellular silicate materials of autoclave hardening]: dis. ... of PhD in Technical Sciences: 05.17.11 / Margarita Vladislavovna Kaftaeva. — Belgorod, 2013. — 215 p. [in Russian]

9. Rudchenko D.G. Gazobeton avtoklavnogo tverdenija s povyshennym koefitsientom konstruktivnogo kachestva [Autoclave-hardened aerated concrete with an increased coefficient of structural quality]: dis. ... of PhD in Technical Sciences: 05.23.05 / Rudchenko Dmitry Genadevich. — Kiev, 2012. — 175 p. [in Russian]

10. Nemceva M.P. Reologicheskie svojstva kolloidnyh sistem: uchebnoe posobie [Rheological properties of colloidal systems: manual] / M.P. Nemceva, D.V. Fillipov, A.A. Fedorova. — Ivanovo: Ivanovo State Chemical-technology University, 2016. — 61 p. [in Russian]