

## Исследование зависимости свойств природных песков от технологических режимов их обогащения

*И.П. Терешкин*

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет*

*им. Н. П. Огарёва, г. Саранск*

**Аннотация:** В статье рассматривается возможность повышения физико-технических свойств природных песков от технологических режимов их обогащения. Методика исследования показана на примере анализа песков по Ускляйскому месторождению Республики Мордовия. Доказывается перспективность их обогащения за счет предварительного просеивания и промывки водой.

**Ключевые слова:** Строительный песок, цементный бетон, строительный раствор, модуль крупности.

Природные пески Республики Мордовия залегают на значительной её геологической части, однако для их широкого использования в производстве строительных конструкций и материалов требуется повышение показателей основных свойств за счет обогащения [1 - 3].

При изготовлении цементных сырьевых смесей для бетонов и строительных растворов используются строительные пески, характеристики которых во многом оказывают влияние на их эксплуатационные качества [4 - 6]. По положениям ряда нормативных стандартов, для производства тяжелых и мелкозернистых бетонов пригодны природные пески, удовлетворяющие ряду требований, например по наличию вредных примесей (в том числе по наличию глинистых и пылевидных частиц), модулю крупности, зерновому составу строительного песка и т.д. Кроме того, в производстве цементных композитов стараются использовать природные пески с меньшей пустотностью и лучшей упаковкой их частиц, чтобы достичь наименьшего расхода цементного вяжущего в сырьевых смесях [7-9]. Поэтому улучшение всего комплекса характеристик природных песков Ускляйского месторождения Республики Мордовии для производства строительных материалов и изделий является важной региональной задачей, решение

---

которой будет способствовать повышению конкурентоспособности производимой в республике строительной продукции с использованием строительных песков [1 - 3].

В настоящей статье приводятся результаты лабораторных исследований технологических режимов обогащения природных песков Ускляйского месторождения (участок 5, расположенный между селами Аргамасово и Ускляй на территории Рузаевского муниципального района Республики Мордовия). Поставленная задача по обогащению природных песков решалась с помощью математического моделирования зависимости наличия пылевидных илистых и глинистых частиц в обогащенных песках, значения модуля крупности от технологических режимов их обогащения. Кроме того, исследовалось значение величины глинистых и илистых частиц в воде после технологических циклов обогащения.

При проведении эксперимента был принят трехфакторный близкий к D-оптимальному план на кубе типа Бокса (ВЗ) с одной центральной точкой [10]. В качестве варьируемых факторов при лабораторном планировании эксперимента были выбраны:  $x_1$  – количество воды на один килограмм природного песка при одном цикле обогащения (килограммов);  $x_2$  – технологическое время отмучивания в воде природного песка при обогащении (минут);  $x_3$  – количество циклов обогащения. Количество воды брали в килограммах, время отмучивания (отмывки) пылевидных илистых и глинистых частиц в природном песке измеряли в минутах, количество циклов – составляло от 1 до 3 раз. До отмучивания пылевидных и глинистых частиц в природном песке, его просеивали через сита с размерами ячеек 10мм и 5мм – имитируя работу грохота технологической установки по обогащению песка. Границы изменения факторов приведены в таблице 1.

В каждой точке плана проводилось шесть измерений процента пылевидных илистых и глинистых частиц в обогащенном песке, значения его

---

модуля крупности и величины глинистых и илистых частиц в воде после технологических циклов обогащения.

Таблица 1

План трехфакторного эксперимента на кубе типа Бокса

№ точки плана		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В нормализованных единицах	x <sub>1</sub>	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	0	0	0	0	0
	x <sub>2</sub>	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	0	0	+1	-1	0	0	0
	x <sub>3</sub>	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	0	0	0	0	+1	-1	0
В натуральных единицах	x <sub>1</sub>	15	15	15	3	3	3	3	15	15	3	9	9	9	9	9
	x <sub>2</sub>	15	15	1	15	1	1	15	1	8	8	15	1	8	8	8
	x <sub>3</sub>	3	1	3	3	1	3	1	1	2	2	2	2	3	1	2

Были получены уравнения регрессии, описывающие влияние исследуемых факторов на свойства обогащенных песков, которые имели следующий вид:

для величины пылевидных илистых и глинистых частиц в обогащенном песке: 
$$\Pi = 0,63 + 0,178x_1^2 - 0,13x_1 + 0,287x_1x_2 + 0,237x_1x_3 - 0,072x_2^2 - 0,2x_2 - 0,063x_2x_3 - 0,172x_3^2 - 0,5x_3$$

для значения модуля крупности обогащенного песка: 
$$M = 2,07 + 0,01x_1^2 - 0,01x_1x_2 - 0,01x_2^2 - 0,01x_2 - 0,01x_2x_3 - 0,05x_3^2 - 0,01x_3$$

для величины глинистых и илистых частиц в воде после технологических циклов обогащения: 
$$\Gamma = 0,36 + 0,08x_1^2 - 0,19x_1 - 0,09x_1x_2 + 0,225x_2x_3 + 0,01x_2^2 + 0,08x_2 - 0,09x_2x_3 + 0,07x_3^2 - 0,22x_3$$

Результаты исследований по полученным уравнениям регрессии показали, что значительное влияние на уменьшение пылевидных и

глинистых части в обогащенных песках достигается с увеличением количества воды при обогащении только при меньших значениях двух других факторов в эксперименте ( $x_2 \rightarrow -1$ ,  $x_3 \rightarrow -1$ ). При увеличении циклов обогащения и времени отмучивания (отмывки) пылевидных и глинистых частиц (факторы  $x_2 \rightarrow +1$ ,  $x_3 \rightarrow +1$ ), увеличение воды в цикле обогащения не рационально. Увеличение времени нахождения природного песка в воде при отмучивании позволяет существенно снизить процент пылевидных и глинистых частиц в обогащенном песке только при меньших объемах воды и в одном цикле обогащения ( $x_1 \rightarrow -1$ ,  $x_3 \rightarrow -1$ ). Увеличение количества циклов обогащения природного песка приводит к резкому падению содержания в нем пылевидных и глинистых частиц. Значения модуля крупности обогащенного песка при оптимальных значениях исследуемых факторов технологического процесса повышаются – наиболее значительное влияние оказывает на его изменение количество воды в цикле обогащения и увеличение самих циклов обогащения. В зависимости от глубины обогащения песка методом отмучивания, можно существенно снизить в нем содержание отмучиваемых примесей и в первую очередь пылевидных и глинистых частиц – до 2% от массы и менее. После обогащения все испытанные пробы песка светлеют, что свидетельствует, в том числе, и о снижении в них гидроокислов железа. Модуль крупности обогащенных песков при оптимальных значениях факторов технологического процесса обогащения повышается ( $M_k=1,97 \div 2,1$ ), его значение по п. 4.2.2 ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» соответствует показателю нижней границы для средних песков.

Исследованиями установлено, что максимальное содержание глинистых частиц в обогащенном песке достигается при минимальных значениях исследуемых факторов – количество воды на 1кг. природного песка при одном цикле обогащения – **три литра**, технологическое время

---

отмучивания в воде природного песка при обогащении – **одна минута**, количество циклов обогащения – **один**. Вместе с тем, в таком обогащенном песке процент пылевидных и глинистых частиц составил не более  $2,2 \div 3\%$ , при исходной до обогащения их величине до 5%. Песок по содержанию пылевидных и глинистых частиц по ГОСТ 8736-2014 можно отнести к строительным пескам средним, II класса.

По полученным математическим моделям были выполнены расчеты, которые показали возможность установления воды при отмучивании в цикле обогащения до  $1,5 \div 2$  л на один килограмм природного песка – получаемый строительный песок в зависимости от циклов обогащения классифицировался как средний II класса или средний I класса.

Ранжирование факторов по их влиянию на процентное содержание пылевидных и глинистых частей в обогащенном песке, а также устойчивость свойств получаемых строительных песков в оптимальном диапазоне, закрепило вывод о том, что при обогащении природных песков Ускляйского месторождения (Участок №5) в промышленном объеме необходимо корректировать режимы их обогащения от исходного процентного содержания пылевидных и глинистых частиц в нем.

*Автор выражает благодарность коллективу строительной лаборатории ООО «Мордовского института негосударственной экспертизы» и лично руководителю организации Владиславу Николаевичу Шуляеву за сотрудничество при лабораторных испытаниях природных песков Ускляйского месторождения Республики Мордовия.*

### Литература

1. Терешкин И.П. Перспективы обогащения природных песков Ускляйского месторождения Республики Мордовия для цементных бетонов и строительных растворов // Инженерный вестник Дона, 2019, №9. – URL:



ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_73\_\_7y2019\_Tereshkin.pdf\_d6ed08cab9.pdf.

2. Терешкин И.П., Мирский В.А. Перспективы разработки высокоэффективных мелкозернистых бетонов на песках Воеводских и Ускляйского месторождений Республики Мордовия // Актуальные вопросы строительства: материалы Двенадцатой междунар. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 247-250.

3. Кочетков А. А., Мирский В. А., Румянцев А. В., Терешкин И. П. Эффективные мелкозернистые бетоны на песках Воеводских и Ускляйского месторождений Республики Мордовия // Огарев-online. 2014. Спецвыпуск. – URL: [journal.mrsu.ru/arts/ehffektivnye-melkozernistyie-betony-na-peskakh-voevodskikh-i-usklyajjskogo-mestorozhdenijj-respubliki-mordoviya](http://journal.mrsu.ru/arts/ehffektivnye-melkozernistyie-betony-na-peskakh-voevodskikh-i-usklyajjskogo-mestorozhdenijj-respubliki-mordoviya).

4. Шляхова Е.А., Холостова А.И. К вопросу повышения качества мелкозернистых бетонов на мелких песках // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4. – URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/R\\_90\\_Shlyahova.pdf\\_2110.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/R_90_Shlyahova.pdf_2110.pdf)

5. Гаврилов А.В., Курочка П.Н. Соотношение размера частиц в полидисперсных структурах как первый к оптимизации составов композиционных вяжущих // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2. – URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_12\\_Kurochka.pdf\\_1596.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_12_Kurochka.pdf_1596.pdf)

6. Mielens Richard C. History of chemical admixtures for concrete // Coner. Int. Des. and Constr. 1984. V.6. №4. pp. 40-53.

7. Dr. S.N. Ghosh Cement and concrete science & technology. New Delhi: NCB, 1991. – 34 p.

8. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1978. – 455 с.

9. Pistill M.F. Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and Influence on the Properties of Portland Cement // Cem. Concr. and Aggr. – 1984. – V.6: - №1. – pp. 33-37.

10. Вознесенский В.А., Ляшенко Г.В., Огарков Б.Л. Методические указания по построению математических моделей. – Одесса: ОИСИ, 1982.

---

- 94 с.

### References

1. Tereshkin I.P. Inzhenernyy vestnik Dona, 2019, №9. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_73\\_\\_7y2019\\_Tereshkin.pdf\\_d6ed08cab9.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_73__7y2019_Tereshkin.pdf_d6ed08cab9.pdf).
2. Tereshkin I.P., Mirskiy V.A. Aktualnyye voprosy stroitelstva: materialy Dvenadtsatoy mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Saransk, 2013, pp. 247-250.
3. Kochetkov A. A., Mirskiy V. A., Rumyantsev A. V., Tereshkin I. P. Effektivnye melkozernistye betony na peskah Voevodskih i Usklyajskogo mestorozhdenij Respubliki Mordoviya [Efficient fine-grained concrete on the sands of the Voevodsky and Usklyai deposits of the Republic of Mordovia]. Ogarev-online. 2014. Spetsvypusk. URL: [journal.mrsu.ru/arts/ehffektivnye-melkozernistye-betony-na-peskakh-voevodskikh-i-usklyajjskogo-mestorozhdenijj-respubliki-mordoviya](http://journal.mrsu.ru/arts/ehffektivnye-melkozernistye-betony-na-peskakh-voevodskikh-i-usklyajjskogo-mestorozhdenijj-respubliki-mordoviya).
4. Shlyakhova E.A., Kholostova A.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/R\\_90\\_Shlyahova.pdf\\_2110.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/R_90_Shlyahova.pdf_2110.pdf)
5. Gavrilov A.V., Kurochka P.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_12\\_Kurochka.pdf\\_1596.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_12_Kurochka.pdf_1596.pdf)
6. Mielens Richard C. History of chemical admixtures for concrete. Coner. Int. Des. and Constr. 1984. V.6. №4. pp. 40-53.
7. Dr. S.N. Ghosh Cement and concrete science & technology. New Delhi: NCB, 1991. 34 p.
8. Bazhenov YU. M. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. M, 1978. 455 p.
9. Pistill M.F. Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and Influence on the Properties of Portland Cement. Cem. Concr. and Aggr. 1984. V.6: №1, pp. 33-37.



10. Voznesenskiy V.A., Lyashenko G.V., Ogarkov B. L. Metodicheskiye ukazaniya po postroyeniyu matematicheskikh modeley [Guidelines for the construction of mathematical models]. Odessa: OISI. 1982. 94 p.