

Шейченко М. С., канд. техн. наук,  
 Карацупа С. В., канд. техн. наук, доц.,  
 Яковлев Е. А., канд. техн. наук, доц.,  
 Шаповалов Н. Н., аспирант,  
 Богусевич В. А., аспирант,  
 Шадский Е. Е., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ОБОГАЩЕНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ\*

alfimovan@mail.ru

В настоящее время остро встала проблема дефицита природного сырья для производства строительных материалов, что обусловлено быстро развивающимися темпами строительства. В связи с этим, актуальная задача строительной индустрии – переориентация предприятий на потребление техногенного сырья. Наиболее крупнотоннажным сырьем является попутные продукты горнодобывающей промышленности, и в частности отходы мокрой магнитной сепарации, образующиеся при обогащении руд. С целью повышения эффективности использования природного сырья Ковдорского месторождения, а также расширения сырьевой базы строительных материалов были исследованы состав и свойства отходов мокрой магнитной сепарации и проведено сравнение по основным показателям с другими песками техногенного происхождения, которые в настоящее время применяются при производстве строительных материалов.

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, техногенное сырье, отходы мокрой магнитной сепарации.

### Введение.

Одним из стратегически важных полезных ископаемых является железная руда, основное количество которой добывается при разработке месторождений магматогенного происхождения (56 %). На территории Российской Федерации одним из крупнейших месторождений подобного типа является Ковдорское, расположенное на Кольском полуострове. При добыче и обогащении руд данного месторождения образуется большое количество попутных продуктов, и в частности отходов мокрой магнитной сепарации (ММС) [1, 2].

В то же время из-за возросших в последние годы темпов строительства на северо-западе Российской Федерации остро встал вопрос дефицита сырья для производства строительных материалов. В связи с этим представляется целесообразной разработка концепции использования данного сырья при производстве строительных материалов.

Следует отметить, что в настоящее время имеется целый ряд работ, посвященных утилизации промышленных отходов в бетонах различного назначения [2–23 и др.], что позволяет не только решать проблему комплексного использования вторичных ресурсов, но и снизить

себестоимость строительства в целом.

В связи с чем, целью данного исследования явилось повышение эффективности использования природного сырья Ковдорского месторождения, а также расширения сырьевой базы строительных материалов

**Основная часть.** Отходы ММС Ковдорского месторождения имеют специфический состав и свойства благодаря своему генезису, технологии добычи и переработке руд.

Визуально они представляют собой техногенный тонкодисперсный песок темно-серого цвета с насыпной плотностью 1545 кг/м<sup>3</sup> и модулем крупности 0,75, при этом наиболее представительной является фракция 0,14 и менее.

Минеральный состав отходов мокрой магнитной сепарации существенным образом отличается от традиционно применяемого при производстве строительных материалов природного кварцевого песка и представлен преимущественно оливином, доломитом, кальцитом и биотитом (табл. 1, рис. 1). При этом, по сравнению с отходами ММС других месторождений, ковдорские отличаются низким содержанием кремнезема и повышенным содержанием оксида магния.

Таблица 1

### Минеральный состав отходов ММС

Фракционный состав	Массовая доля минерала, вес. %			
	Оливин	Кальцит	Доломит	Биотит
Отходы ММС	48,4	25,8	16,0	9,8
Фракция 0,63–0,14	31,9	44,2	13,5	10,4

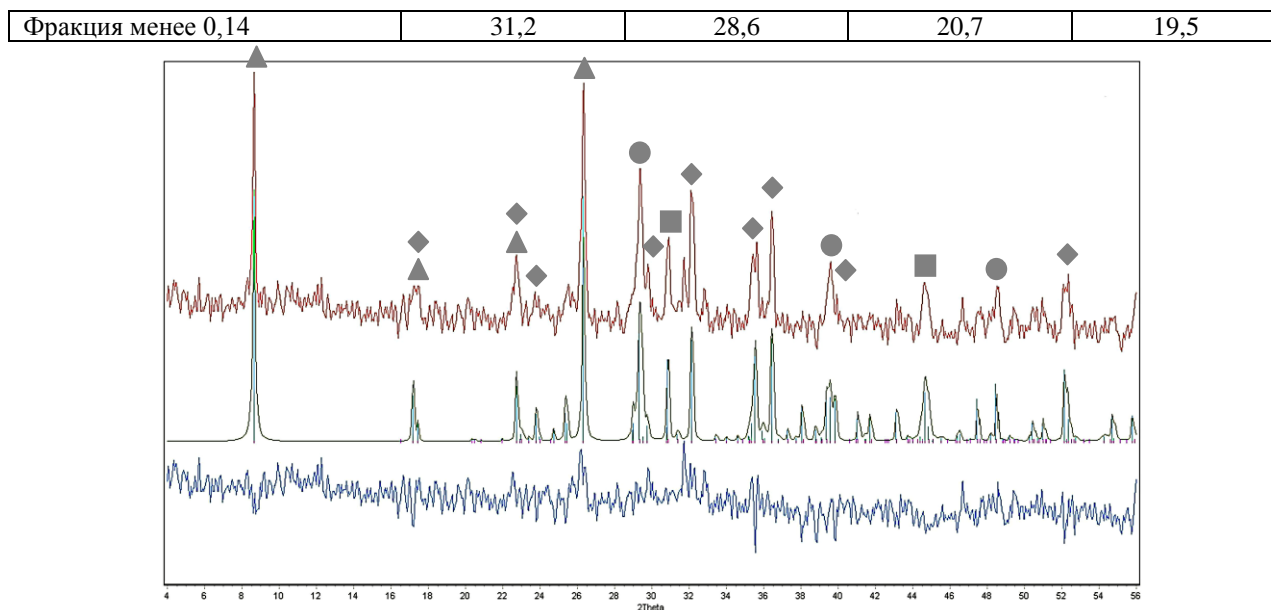


Рис. 1 Минеральный состав отходов ММС Ковдорского месторождения:

◆ – оливин; ● – кальцит; ■ – доломит; ▲ – биотит

Специфика формы и морфологии поверхности отходов ММС (рис. 2) связана с ультраосновным составом исходных пород и структурно-текстурными особенностями.

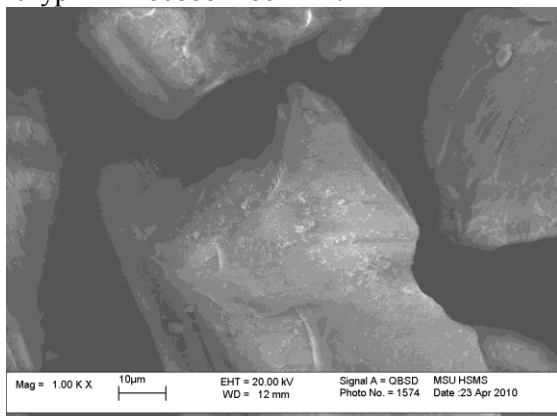


Рис. 2. Общий вид частиц отходов ММС

Фракция минеральных индивидов с заметно проявленным гипидиоморфизмом может быть отнесена к оливиновой составляющей как имеющей наибольшую в рассматриваемой системе кристаллизационную способность.

Карбонатные минеральные индивиды характеризуются ксеноморфными морфоструктурами поверхностей ограничения.

На некоторых поверхностях минеральных индивидов отмечены ростовые аксессуарии посткристаллизационной стадии формирования горной породы.

Установлена высокая водо- (14 %), цементопотребность (0,84) отходов и низкий коэффициент качества (0,52) ММС Ковдорского месторождения как заполнителя бетона, что объясняется их ультраосновным составом, а также характером поверхности зерен. Высокие значения данных интегральных характеристик отходов

ММС определяют необходимость перерасхода самого дорогого компонента бетонной смеси – вяжущего – для получения равнопрочного материала в сравнении с традиционными заполнителями. Поэтому представляется необходимым при использовании данного сырья применять суперпластификаторы, которые будут способствовать улучшению реологических характеристик бетонных смесей и, как результат, снижению расхода вяжущего на 1 м<sup>3</sup> смеси. Необходимо отметить, что обогащение отходов за счет отсеивания пылеватой фракции улучшает показатели водо- (12,5 %) цементопотребности (0,72) и коэффициента качества (0,66) как заполнителя бетона.

В связи с необходимостью оценки пригодности исследуемых пород для производства композиционных вяжущих был определен их коэффициент качества ( $K_k$ ) как компонента КВ, а также проведены сравнения с другими песками техногенного месторождения (табл. 2). Исходя из приведенных ранее данных об улучшении показателей цемента- и водопотребности отходов ММС при отсеивании пылеватой фракции был определен  $K_k$  фракции 0,63–0,14.

Анализ результатов свидетельствует о том, что исследуемые отходы обладают коэффициентом качества, сопоставимым с природным кварцевым песком и при отсеивании пылеватой фракции этот показатель увеличивается, приближаясь к показателю песка Вольского месторождения.

Важнейшей характеристикой вяжущего является величина удельной поверхности, связанная с гранулометрическим составом, который оказывает определенное влияние на водопотребность, темпы набора прочности, активность

вяжущих и позволяет расширить представления о материалах.

Таблица 2

**Показатели коэффициент качества пород различного генезиса как компонента композиционного вяжущего**

№ п/п	Наименование компонента ТМЦ	Коэффициент качества
1	Отсев дробления КВП, фракции 0,315–5	1,29
2	Песок Стодеревского карьера	1,02
3	Отходы ММС Лебединского месторождения	1,02
4	<b>Песок Вольского месторождения</b>	<b>1</b>
5	<b>Отходы ММС Ковдорского месторождения, фракции 0,63–0,14</b>	<b>0,98</b>
6	Отсев дробления кварцитопесчаника (КВП)	0,96
7	Песок Нижне-Ольшанского месторождения	0,95
8	<b>Отходы ММС Ковдорского месторождения</b>	<b>0,92</b>
9	Отсев Солдато-Александровского карьера	0,77
10	ОАО Архангельской алмазоносной провинции	0,31

Анализ результатов проведенного сравнения гранулометрического состава ТМЦ-50 с использованием отходов ММС, взятых с отсевом и без отсева пылевой фракции, и песка Вольско-

го месторождения показал, что кривые распределения одномодальные и имеют незначительные различия при одинаковой удельной поверхности вяжущего (рис. 3).

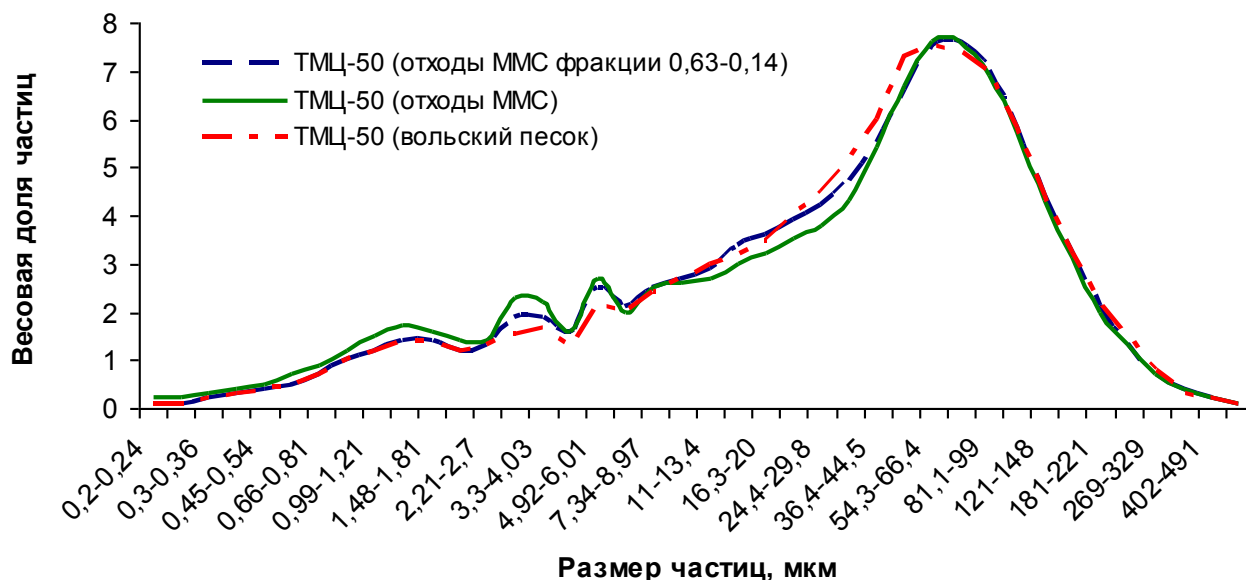


Рис. 3. Сравнение распределения частиц по размерам ТМЦ-50 с использованием отходов ММС и природного кварцевого песка

Наибольшее количество частиц у всех вяжущих соответствует размерам 66,4–81,1 мкм. При этом ТМЦ-50 с использованием отходов ММС без отсева пылевой фракции отличается большим содержанием частиц фракции 0,2–7,34 мкм, а КВ с использованием песка Вольского месторождения – 36,4–81,1 мкм.

Сравнительный анализ микроструктуры цементного камня с активированным в процессе помола компонентом КВ позволил выявить, что в зоне контакта цементного камня с поверхностью зерна отходов ММС без пылевой фракции и в большей степени с ней наблюдается снижение адгезии в сравнении с зерном кварцевого песка Вольского месторождения, что и предопределяет снижение коэффициента каче-

ства исследуемых пород как компонента композиционного вяжущего.

Таким образом, различия в коэффициентах качества исследуемых отходов и песка Вольского месторождения определяются не гранулометрией, а качественными показателями минерального компонента и, в частности, ультраосновным составом отходов мокрой магнитной сепарации Ковдорского месторождения, а также наличием на их поверхности пылевых частиц.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что уменьшение показателей цемента- и водопотребности, а также увеличение коэффициента качества как компонента композиционного вяжущего с использованием высокомагнезиального сырья при отсева пыле-

ватой фракции обеспечивается за счет снижения содержания биотита в общей массе (см. табл. 1), который из-за особенностей своей кристаллической решетки обладает весьма совершенной спаянностью и, как следствие, низкой адгезией к

Следующий этап работы был направлен на определение рационального состава композиционного вяжущего и изучение его свойств. С этой целью проведен комплекс исследований по разработке рецептурно-технологических параметров КВ на основе метода математического планирования эксперимента. В качестве факторов варьирования были приняты суперпластификатор, количество отходов мокрой магнитной сепарации (табл. 3). Выходными параметрами служат прочность при сжатии и плотность. Стоит отметить, что подбор оптимального состава проводился с использованием отходов ММС как с отсевом пылеватой фракции, так и без него.

**Уравнение регрессии для композиционных вяжущих с использованием:**

*отходов ММС*

$$R = 41,74 - 3,27X_1 + 2,53X_2 + 0,723X_1^2 + 0,328X_2^2 + 0,05X_1X_2; \rho_{cp} = 2046 - 23X_1 + 22X_2 - 2X_1^2 - 6X_2^2 - 1,3X_1X_2;$$

*отходов ММС фракции 0,63–0,14*

$$R = 45,39 - 4,595X_1 + 3,04X_2 + 0,352X_1^2 + 1,592X_2^2 - 0,1X_1X_2; \rho_{cp} = 1990 - 26,83X_1 + 18,5X_2 - 7,5X_1^2 - 9,5X_2^2 - 0,8X_1X_2.$$

*а б*

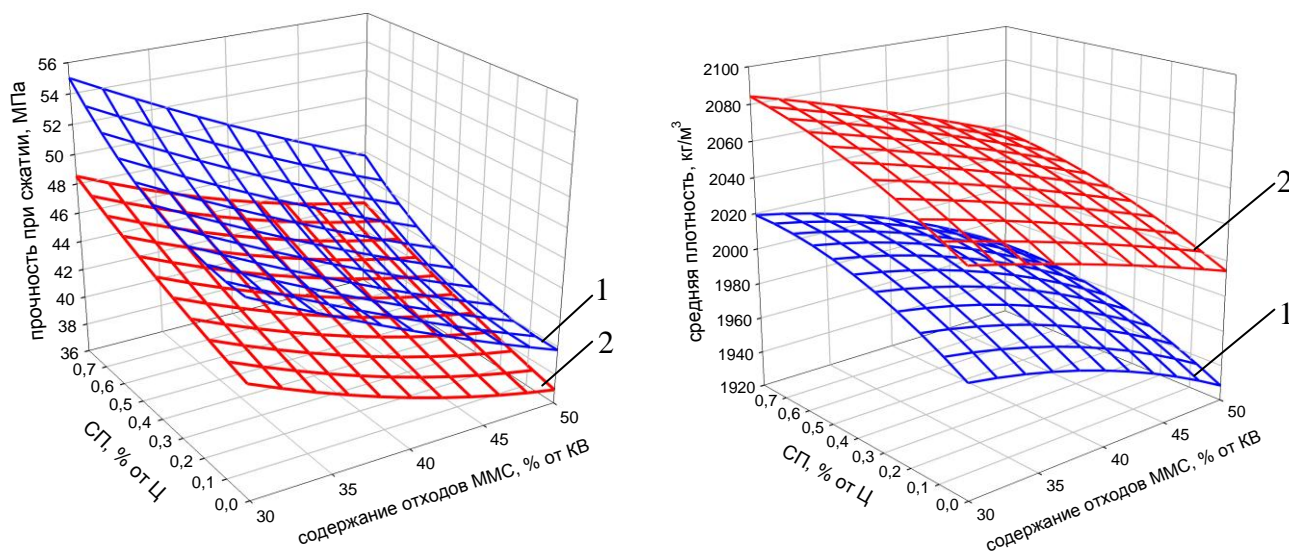


Рис. 4. Зависимость прочности (а) и плотности (б) композиционных вяжущих от фракции, количества отходов ММС и суперпластификатора:

1 – отходы ММС; 2 – фракции 0,63–0,14

По уравнениям регрессии был сделан анализ влияния исследуемых факторов, который показал что КВ, изготовленные с использованием отходов ММС фракции 0,63–0,14, отличаются большей активностью в отличие от КВ с использованием отходов без отсева пылеватой фракции. При этом максимальная активность в обоих случаях достигается при 30 %-м содержа-

нии минерального компонента от массы вяжущего и дозировки суперпластификатора 0,8 % от массы цемента (ВНВ-70). Следует отметить, что плотность образцов, изготовленных на полученных композиционных вяжущих, находится в обратной зависимости от их прочности, что обусловлено уплотнением структуры за счет наличия пылеватой фракции.

Таблица 3

**Условия планирования эксперимента**

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	1	
Натуральный вид	Кодированный вид				
Отходы ММС, %, от массы КВ	X <sub>1</sub>	30	40	50	10
Мельмент, %, от массы цемента	X <sub>2</sub>	0	0,4	0,8	0,4

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены зависимости изменения прочности и плотности композиционных вяжущих в зависимости от вида, количества минерального компонента и суперпластификатора (рис. 4).

Таким образом, применение композиционных вяжущих с использованием отходов мокрой магнитной сепарации Ковдорского месторождения для производства мелкоштучных стеновых материалов позволит получить значительный экологический, экономический и социальный эффект, заключающиеся в использовании техногенного сырья, снижении расхода вяжущего и энергоресурсов за счет снижения энергозатрат при помоле.

**Выводы.** В ходе проведения исследований был выявлен характер влияния обогащения (отсева пылеватой фракции) на снижение цементности и водопотребности, а также на увеличение коэффициента качества, как компонента композиционного вяжущего отходов мокрой магнитной сепарации, что обусловлено уменьшением концентрации биотита в общей массе. Негативное влияние слоистых алюмосиликатов (в частности биотита) на их низкую адгезию к цементному камню вызвано особенностями структуры кристаллической решетки и, как следствие, весьма совершенной спайностью минералов, а также неразвитостью морфологии поверхности зерен. Это позволило обосновать необходимость комплексного пофракционного использования техногенного сырья. Наряду с уменьшением затрат на помол, обусловленных лучшей размолоспособностью оливина, кальцита и доломита в сравнении с кварцем, это способствует снижению энергоемкости производства композиционных вяжущих.

Получены зависимости предела прочности при сжатии и средней плотности композиционных вяжущих от количества отходов мокрой магнитной сепарации, взятых до и после обогащения, и пластифицирующей добавки в его составе, позволяющие определить оптимальное соотношение компонентов системы и обеспечить требуемые характеристики изделий.

Установлены закономерности изменения активности и плотности композиционных вяжущих от рецептурных параметров смеси. Получены составы КВ, соответствующие по активности классу ЦЕМ I 42,5 Н.

*\*Работа выполнена в рамках Гранта Президента Российской Федерации МК-5667.2013.8 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокофьева В. В., Багаутдинов З. В. Строительные материалы на основе силикатов магния. СПб. : Стройиздат СПб, 2000. 200 С. ISBN 5-87897-072-4.
2. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова

Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 10–14.

3. Перспективы использования вулканического песка Эквадора для производства мелкозернистых бетонов / В. В. Строкова, Н. И. Алфимова, Ф. А. НавареттеВелос, М.С. Шейченко // Строительные материалы. 2009 № 2. С. 32–33.

4. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов\* / Р. В. Лесовик, Н.И. Алфимова, М. Н. Ковтун, А. Н. Ластовецкий // Региональная архитектура и строительство. 2008. №2. С. 10–15.

5. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые камни из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья // Известие вузов. Строительство. 2007. №11. С. 46–49.

6. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов обогащения ЮАР // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №8. С. 30–31.

7. Пути повышения эффективности мелкозернистого бетона / Р.В. Лесовик, А.И. Топчиев, М.С. Агеева, М.Н. Ковтун, Н.И. Алфимова, А.П. Гринев // Строительные материалы оборудование, технологии XXI века. 2007. №7. С. 16–17.

8. Стеновые блоки из мелкозернистого бетона на основе техногенного песка Северного Кавказа / В.Л. Курбатов, Р.В. Лесовик, Н.Д. Комарова, Н.И. Алфимова, М.Н. Ковтун // Строительные материалы. 2006. № 8. № 11. С. 10–11.

9. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №2. С. 56–59.

10. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Техногенные пески для производства высококачественного фибробетона // Строительные материалы оборудование, технологии XXI века. 2012. №8. С. 31.

11. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 41–47.

12. Попутные продукты горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов / А.Н. Володченко, В.С. Лесовик, С.И. Алфимов, Р.В. Жуков // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 10. С. 79–79.

13. Ячеистые бетоны с использованием попутнодобываемых пород Архангельской алмазонной провинции / А.Н. Володченко, В.С. Лесовик, С.И. Алфимов, Р.В. Жуков, В.К. Гара-

нин // Известие вузов. Строительство. 2007. №2. С. 13–18.

14. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К. А. Энергоэффективные газобетоны бетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известие вузов. Строительство. 2012. №3. С. 10–20.

15. Лесовик, Р. В. Жерновский И. В., Выбор кремнеземсодержащего компонента композиционных вяжущих веществ // Строительные материалы. №8. 2008. С. 78–79.

16. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG.2013.127 с. ISBN 978-3-659-35755-8.

17. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне // Известие вузов. Строительство. 2013. №1. С. 28–33.

18. Патент на изобретение RUS 2465235 22.06.2011. Сырьевая смесь для изготовления силикатного кирпича. Алфимова Н.И., Черкасов В.С., Трунов П.В., Шаповалов Н.Н., Попов М.А.

19. Патент на изобретение RUS 2389711

22.09.2008. Способ получения вяжущих для бетонов. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Лесовик Р.В., Строкова В.В., Шейченко М.С., Трунов П.С.

20. Патент на изобретение RUS 2385301 11.03.2009. Композиционное вяжущее. Лесовик В.С., Хархардин А.Н., Вишневская Я.Ю., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Трунов П.В.

21. Фомина Е.В. Особенности твердения композиционных вяжущих в технологии автоклавных ячеистых материалов / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2007

22. Рациональные области использования сырья угольных разрезов /Е.И. Ходыкин, Е.В. Фомина, М.А. Николаенко, М. С. Лебедев //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №3. С. 125–128.

23. Носова А.Н., Фомина Е.В. Термоактивация опал-кристоболитовой породы – отхода Коркинского угольного месторождения // Технические науки – от теории к практике. 2013. №24. С. 106-111.