

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 624.131.4.:533.9...16

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-1-197-207

*В.Н. ЕФИМЕНКО, Ю.М. ЧАРЫКОВ,*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГРУНТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Показаны результаты исследований по расширению сырьевой базы дорожно-строительных материалов за счет использования широко распространенных на территории России глинистых грунтов. Отражены характеристики состава и свойств грунтов, обработанных по нетрадиционной электротермической технологии. Предложена технологическая схема производства каменного материала. Приведены сведения, характеризующие энергозатраты по применению искусственных каменных материалов при строительстве оснований дорожных одежд автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; дорожно-строительные материалы; глинистые грунты; электротермические технологии; основания дорожных одежд.

**Для цитирования:** Ефименко В.Н., Чарыков Ю.М. Перспективы развития электротермической геотехнологии преобразования грунтов в дорожном строительстве // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 1. С. 197–207.

*V.N. EFIMENKO, Yu.M. CHARYKOV,*

*Tomsk State University of Architecture and Building*

## **DEVELOPMENT OF ELECTROTHERMAL GEOTECHNOLOGY OF SOIL TRANSFORMATION IN ROAD CONSTRUCTION**

The paper presents of research results on the development of the raw material base due to the use of clay soils widespread in the territory of Russia. The structure and properties of soils are processed by the nonconventional electrothermal technology. The flow chart is proposed for the rock material production. The data on energy consumption is suggested herein for the use of artificial rock materials in the road pavement engineering.

**Keywords:** automobile road; road-building material; clay soil; electrothermal technology; road pavement.

**For citation:** Efimenko V.N., Charykov Yu.M. Perspektivy razvitiya elektrotermicheskoi geotekhnologii preobrazovaniya gruntov v dorozhnom stroitel'stve [Development of electrothermal geotechnology of soil transformation in road construction]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 1. Pp. 197–207. (rus)

Темпы строительства автомобильных дорог в ряде регионов России в значительной мере сдерживаются отсутствием месторождений каменных материалов. К таким регионам можно отнести, например, территорию Западной Сибири, являющуюся главной топливно-энергетической базой государства.

Анализ условий строительства и эксплуатации автомобильных дорог при избыточном увлажнении и глубоком сезонном промерзании глинистых грунтов, широко распространённых на территории Западной Сибири, свидетельствует о возможном развитии в рабочем слое земляного полотна интенсивных процессов пучинообразования и деформаций. Отмеченные обстоятельства определяют непродолжительный срок службы дорожных одежд, а также необходимость значительных капитальных вложений в ремонт и реконструкцию автомобильных дорог региона.

Удаление свободной воды из рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог в условиях избыточного увлажнения грунтов осуществляют при помощи дренирующих слоёв, устраиваемых из природных зернистых материалов, преимущественно гравийных. Отсутствие промышленных запасов гравийно-песчаных и песчаных пород, их высокая стоимость и экологические потери, связанные с разработкой небольших по объёму ископаемого сырья месторождений, требуют поиска и разработки новых искусственных материалов, применение которых в строительстве способствовало бы решению проблемы надёжной эксплуатации транспортных сооружений.

Анализ существующих методов регулирования водно-теплового режима земляного полотна и дорожных одежд показывает, что расход природных зернистых материалов при сооружении автомобильных дорог можно снизить за счёт применения геотекстильных и теплоизоляционных материалов [1]. Тем не менее полный отказ от дефицитных горных пород в основаниях дорожных одежд возможен лишь при условии использования искусственных зернистых материалов, обеспечивающих достаточную скорость фильтрации влаги и имеющих требуемые прочность и морозоустойчивость.

Один из вариантов снижения стоимости и ускорения темпов строительства автомобильных дорог в районах со слаборазвитой инфраструктурой при неблагоприятных грунтово-гидрологических и климатических условиях – применение в дорожных конструкциях местных глинистых грунтов, свойства которых искусственно улучшены. При строительстве автомобильных дорог в районах, характеризующихся избыточным увлажнением и глубоким сезонным промерзанием земляного полотна, наиболее перспективны химические методы укрепления [2, 3]. Однако применение грунтов, укрепленных химическими методами, в условиях Западной Сибири допустимо лишь в верхних слоях ос-

нований дорожных одежд [4]. Для применения в нижних слоях оснований укрепленные грунты должны обладать коэффициентом фильтрации дренирующего слоя не  $< 1$  м/сут. Таким требованиям могут отвечать искусственные каменные материалы, получаемые в виде зёрен методами физического воздействия теплового поля на укрепляемый грунт.

В отличие от других методов, термическое укрепление глинистых грунтов, осуществляемое на месте строительства или индустриальным способом в стационарных или полустационарных условиях, обеспечивает коренное изменение их свойств, включая химические, физико-химические и физико-механические, за счёт трансформирования состава и полного освобождения от всех видов воды. Основными препятствиями в практическом решении вопросов термического укрепления грунта многими из существующих методов являются его большая теплоёмкость и низкая теплопроводность. Для преодоления отмеченных особенностей глинистых грунтов требуется длительная термическая обработка сырья, что связано со значительными затратами тепловой энергии [5, 6]. Вместе с тем основное технологическое звено производства искусственных каменных материалов, например керамзита и аглопорита, – промышленные печи – отличаются крайне низким (25–35 %) КПД топливоиспользования и исключительно большими потенциальными возможностями для экономии топлива и охраны окружающей среды от вредных выбросов. Кроме того, существующие технологии производства пористых керамических материалов предусматривают применение крупногабаритного металлоёмкого оборудования. Например, промышленный выпуск аглопорита осуществляют на ленточных агломерационных машинах непрерывного действия, вес которых в зависимости от вида изменяется от 26 до 250 т, а наиболее часто применяемая машина СМ-961 имеет вес 106–121 т. Сырцовые гранулы керамзита обжигают во вращающихся печах длиной 25–50 м и диаметром 1,8–3,0 м [7].

Это предопределяет размещение заводов и цехов по производству искусственных каменных материалов в районах сосредоточенного строительства, характеризующихся наличием значительного количества потребителей. В условиях линейного строительства автомобильных дорог в районах, где недостаточно развиты транспортные коммуникации и характерны разбросанность и удалённость от поставщиков производственных баз, применение существующих технологий производства керамзита и аглопорита может привести к значительному удорожанию готового продукта при доставке его к месту производства работ, усложнит организацию дорожного строительства.

Среди направлений, предусматривающих обеспечение эффективности и устранение отмеченных недостатков в технологии производства зернистых керамических материалов, может превалировать создание теплотехнических систем, формируемых на новой энергетической основе и предполагающих использование эффективных источников энергии или их сочетания. Во многих отраслях промышленности внимание исследователей привлекает возможность применения в качестве источников тепловой энергии электроплазменных устройств [8].

К преимуществам плазменного нагрева материалов относят: возможность достижения очень высоких температур газовой среды; возможность ис-

пользования любой газовой атмосферы; высокий термический коэффициент полезного действия источников плазмы; небольшой объём отходящих газов; малые габариты реактора для тепловой обработки сырцовых гранул глинистого грунта [9]. Применение генераторов низкотемпературной плазмы в технологии производства искусственных зернистых каменных материалов может открыть перспективы миниатюризации производства, обеспечения его мобильности, расширения диапазона используемых в качестве сырья глинистых грунтов за счёт высокой температуры газовой среды, что в целом приемлемо для специфики организации дорожно-строительных работ.

Известно, что совершенствование любых технологических систем наиболее эффективно при условии сохранения ключевых операций и этапов производства, целесообразность которых проверена многолетней практикой применения в реальных условиях организации работ. Поэтому в основу технологического процесса производства зернистого керамического материала, включающего тепловую обработку глинистого сырья в электроплазменном реакторе, был положен комплекс оборудования, хорошо зарекомендовавший себя в практике производства керамзита [10].

Основная операция технологии термического укрепления грунтов – высокотемпературная обработка керамического сырья – включает следующие основные стадии: загрузку сырцовых гранул в плазменный реактор, генерирование потока горячего газа (воздуха) и смешение его с укрепляемым сырьём, выгрузку готового продукта с последующими закалкой и складированием [7].

Работу электродугового реактора обеспечивает ряд блоков, составляющих технологическую установку [5, 6]. Блок подготовки рабочего газа включает аппараты для его компримирования, очистки, дозирования и передачи (рис. 1). Для защиты катодов электродуговых плазмотронов применяют газообразный азот. При использовании в установке плазмотронов с расходным катодом необходимость в азоте отпадает. Охлаждение плазмотронов, герметично закреплённых на корпусе реактора, осуществляют за счёт оборотного водоснабжения. Подача гранулированного сырца в реакторный блок происходит при помощи питателя навстречу газовому потоку, генерируемому плазмотроном, направляемому в сушильную камеру. Из сушильной камеры паро-пылегазовый поток попадает в теплообменник блока газоочистки, где газовая смесь освобождается от воды. Полученный конденсат собирают в сборнике, где его нейтрализуют и направляют на повторное использование в блок переработки грунтового сырья. Газ, содержащий оксиды азота, попадает в абсорбер, а затем выбрасывается в атмосферу. Предлагаемая технологическая схема, в отличие от действующих производств, обеспечивает экологически чистое получение зернистого керамического материала.

Для проведения опытно-экспериментальных работ специалистами Сибирского химического комбината (г. Северск) была запроектирована и смонтирована установка, общий вид которой представлен на рис. 2.

Размер частиц керамического материала, получаемого по электротермической геотехнологии, составляет  $5 \cdot 10^{-3}$ – $15 \cdot 10^{-3}$  м. Мощный тепловой удар, который получает частица глинистого сырца в плазменном реакторе ( $> 2000$  °С), обеспечивает плакирование её поверхности. Распространяясь по

вектору радиуса гранулы сферической формы, тепловой импульс обеспечивает необратимые изменения химико-минералогических и других свойств глинистого сырья. Однако глубина процессов физико-химических преобразований по сечению частицы керамики неоднородна, поскольку центральная её часть нагревается до температуры около 900 °С, а периферия – до температуры газовой среды в реакторе. Смежные зоны гранулы керамического материала не имеют чётко выраженных границ. Как правило, между ними наблюдаются постепенные переходы, что благоприятно сказывается на прочностных свойствах продукта плазменной обработки глинистого сырья [11].

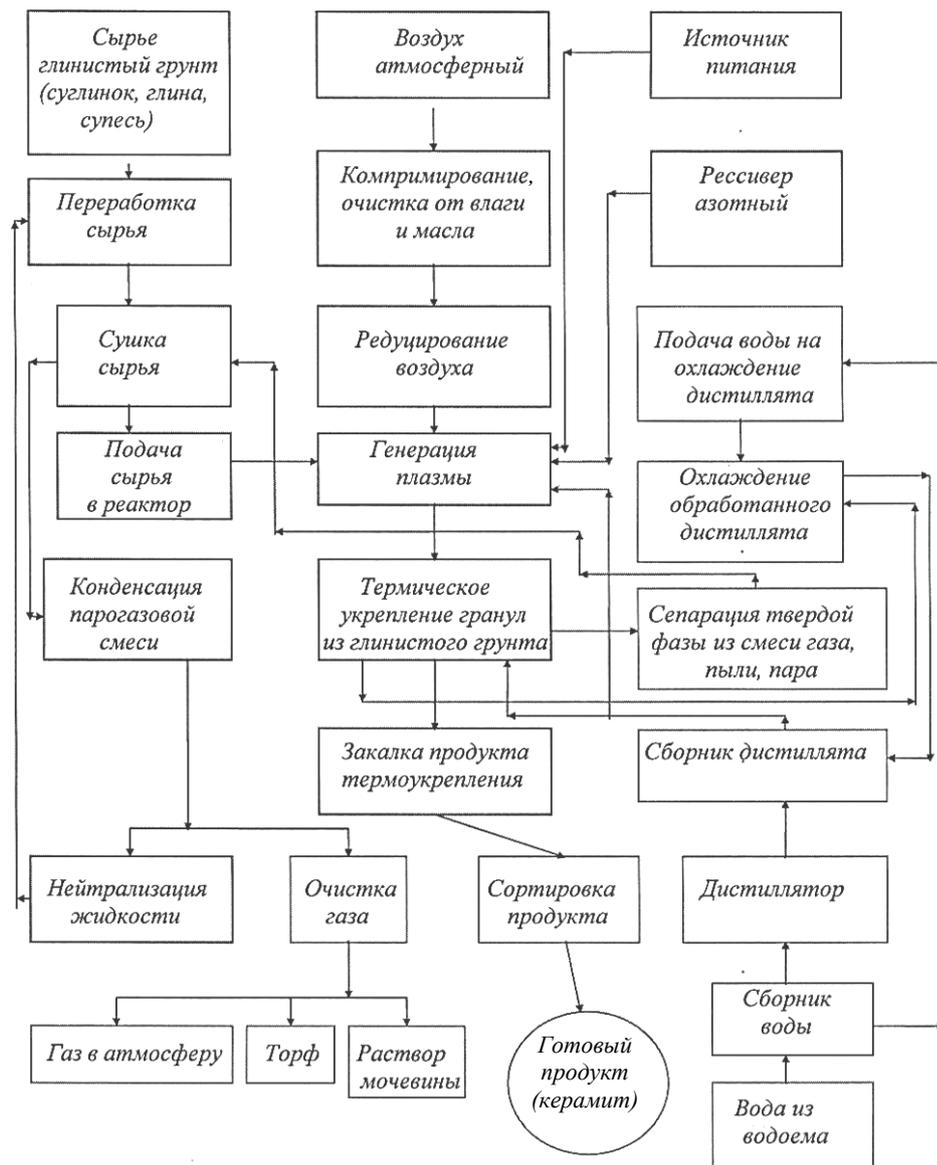


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема плазменного упрочнения связных грунтов



Рис. 2. Внешний вид установки М-2152

Фазовый анализ микроэлектроннограмм, полученных на образцах из разных зон тепловой обработки гранул, свидетельствует, что для зон спекания в пределах объема гранул характерно наличие высокотемпературных разновидностей кремнезёма, конечного члена изоморфного ряда плагиоклаза – анортита, а также волластонита. Известно, что при обычной тепловой обработке плагиоклаза его распад протекает медленно. Эффект скоростной трансформации кремнезёма и плагиоклаза со стремительным ростом упорядоченных доменов при плазменной обработке глинистого сырья можно объяснить радиационно стимулированной диффузией в кристаллах атомов Al и Si. Это, в свою очередь, способствует формированию дефектов кристаллических решёток. Высокая плотность дефектов в кристаллах минералов, составляющих глинистое сырьё, провоцирует интенсивное протекание твёрдофазовых реакций, обеспечивающих улучшение физико-механических свойств продукта

термической обработки по сравнению с исходным сырьём, что подтверждено экспериментами [5, 6].

На уровне оптической микроскопии микроструктура основной массы керамики объединена в замкнутые области размером 2–3 мкм, которые входят в зёрна, средний размер которых составлял 20–25 мкм. В свою очередь, зёрна числом три и более объединены в агрегаты размером до 100 мкм. В соответствии с существующим представлением о том, что атомы на границе зёрен имеют повышенную энергию по сравнению с атомами внутри зерна и, соответственно, большую реакционную способность, можно предположить, что сформировавшаяся в процессе плазменного термоукрепления грунта структура гранулы способствует улучшению прочностных свойств искусственного зернистого материала [12].

Результаты выполненных исследований позволили составить характеристику выделенных по степени тепловой обработки зон гранулы нового искусственного заполнителя, установить процессы, преобладающие в формировании их минерального состава и микроструктуры, что отражено в табл. 1.

Таблица 1

**Характерные зоны гранулы керамического материала,  
сформированные при плазменной обработке глинистого сырья**

Зоны гранулы	Цвет	Минеральный состав	Микроструктура	Основные процессы
Периферийная оболочка	Чёрный и тёмно-серый	Аморфное вещество с включениями разновидностей кварца	Стекловатая	Расплав с остеклованием при температуре > 1800 °С
Подложка	Тёмно-серый и серый за счёт окисления лимонита до магнетита	Основной: разновидности кварца и плагиоклаза Второстепенный: гидромусковит, полевые шпаты, хлорит, волластонит, амфибол	Кристаллически-тонкозернистая, включающая как самостоятельные выкристаллизованные зёрна, так и объединённые в агрегаты	Связывание СаО с расплавленной алюмосиликатной частью при температуре 1600–1800 °С
Основной физический объем	Красный за счёт окисления гидроксидов железа до гематита	Основной: кварц, плагиоклаз и их разновидности второстепенный: гидромусковит, полевые шпаты, хлорит, волластонит, амфибол и карбонат	Мелко-среднезернистая, по величине зёрен неравномернозернистая, объединённая в агрегаты	Диссоциация карбонатов; аморфизация глинистых минералов; спекание контактов частиц при температуре 900–1500 °С

Конечный продукт – зернистый керамический материал, получаемый по плазменной технологии, имеет среднюю объёмную плотность  $1,6 \text{ т/м}^3$ , плотность гранул  $2,29 \text{ т/м}^3$ , насыпную около  $1,0 \text{ т/м}^3$  и характеризуется следующими свойствами: модуль упругости – не менее 105 МПа, коэффициент фильтрации – более 3 м/сут, морозостойкость – более 25 циклов. Эти результаты испытаний термоукрепленного глинистого грунта свидетельствуют о возможности применения его в нижних слоях оснований дорожных одежд автомобильных дорог.

Лабораторные исследования, выполненные нами, показывают, что термоукрепленный глинистый грунт можно применять при строительстве автомобильных дорог не только в земляном полотне и нижних слоях оснований дорожных одежд. Композиции на основе зёрен термоукрепленного грунта и вяжущих (органических и неорганических) эффективны также при их применении в верхних слоях оснований дорожных одежд. Например, при смешении керамита с цементом (12 % по массе) были получены образцы, которые в 28-суточном возрасте характеризовались следующими показателями физико-механических свойств: предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов – 2,3 МПа; предел прочности при изгибе – 3,1 МПа; коэффициент морозостойкости – 0,66, что позволяет отнести эту композицию ко II и III классам прочности и свидетельствует о возможности её применения в верхних слоях дорожных одежд под покрытиями капитального типа.

Для сравнения эффективности строительства нижних слоёв оснований из зернистых керамических материалов принята конструкция дорожной одежды, характерная для районов избыточного увлажнения. Расчётные параметры материалов, альтернативных плазменно укрепленному глинистому сырью (названного керамит), приняты с учётом рекомендаций, приведённых в работах [7, 13]. Расчёты выполнены с учётом значений характеристик глинистых грунтов, полученных самостоятельно на автомобильных дорогах Западно-Сибирского региона.

При этом установлено, что значительная доля энергозатрат, связанных со строительством дополнительных слоёв дорожных одежд из искусственных материалов, обусловлена работой оборудования по их производству (табл. 2). Так, на производство керамдора требуется около 96 % энергозатрат от суммарного расхода энергии на строительство конструктивного слоя из этого материала.

Таблица 2

**Затраты энергии на единицу работ при строительстве дорожных одежд с дополнительными слоями из керамических материалов**

Характеристика затрат энергии	Керамический материал для строительства дополнительного слоя дорожной одежды			
	Аглопорит	Керамзит	Керамдор	Керамит
Энергозатраты на устройство дополнительного слоя дорожной одежды с учётом затрат на производство керамических материалов, МДж/м <sup>3</sup>	3776,2	5206,5	5551,7	1141,1

Окончание табл. 2

Характеристика затрат энергии	Керамический материал для строительства дополнительного слоя дорожной одежды			
	Аглопорит	Керамзит	Керамдор	Керамит
В том числе:				
затраты энергии на производство материала, МДж/м <sup>3</sup>	3432,5	4862,8	5324,2	797,4
затраты энергии на устройство дополнительного слоя, МДж/м <sup>3</sup>	343,8	343,8	343,8	227,6

Энергозатраты на производство аглопорита составляют до 88,7 %, керамзита – 93,3 %, а затраты, направленные на плазменное укрепление глинистого сырья, соответствуют 70 % от общего потребления энергии при строительстве нижнего слоя основания дорожной одежды.

Сравнительно низкие энергозатраты при производстве керамита обеспечивают существенную эффективность их применения в транспортном строительстве.

Результаты исследований показывают, что применение материала из гранулированного грунта, преобразованного при высокой температуре, для строительства автомобильных дорог открывает перспективы:

- расширения сырьевой базы строительных материалов;
- уменьшения транспортных затрат;
- экономии топлива;
- экологической безопасности производства,

а также способствует интенсификации строительства в сложных природно-климатических условиях при отсутствии месторождений каменных материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Синтетические текстильные материалы* в транспортном строительстве / В.Д. Казарновский, А.Г. Полуновский, В.И. Рувинский [и др.] ; под ред. В.Д. Казарновского. – М. : Транспорт, 1984. – 159 с.
2. *Гончарова, Л.В.* Основы искусственного улучшения грунтов (техническая мелиорация грунтов) / Л.В. Гончарова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1973. – 376 с.
3. *Безрук, В.М.* Укрепление глинистых грунтов / В.М. Безрук. – М. : Транспорт, 1965. – 340 с.
4. *СП 34.13330.2012.* Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85\* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
5. *Ефименко, В.Н.* Плазменная обработка гранулированного глинистого грунта при производстве керамического материала для строительства основания дорожных одежд автомобильных дорог : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Томск, 1994. – 37 с.
6. *Строительство и реконструкция автомобильных дорог* : справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. 1 / А.П. Васильев, Б.С. Марышев, В.В. Силкин [и др.] ; под ред. А.П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2005. – 646 с.
7. *Строительные материалы* : справочник / А.С. Болдырев, П.П. Золотев, А.Н. Люсов [и др.] ; под ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова. – М. : Стройиздат, 1989. – 567 с.

8. *Новые материалы и технологии. Экстремальные технологические процессы* / М.Ф. Жуков, В.А. Неронов, В.П. Лукашов [и др.]. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1992. – 183 с.
9. *Использование плазмы в химических процессах* / под ред. А.С. Полака. – М. : Мир, 1970. – 255 с.
10. *Чарыков, Ю.М.* Технология скоростной высокотемпературной обработки глинистых грунтов : дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 155 с.
11. *Ефименко, В.Н.* Результаты процесса конвективного теплообмена в системе «газовая среда – частица грунта» при обосновании технологических параметров производства керамики / В.Н. Ефименко Ю.М. Чарыков, С.М. Путятин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2. – 238 с.
12. *Новые методы и геотехнологии преобразования грунтов энергией плазмы и СВЧ-поля в строительстве: в 2 ч.* / В.Н. Ефименко, Ю.М. Чарыков, А.П. Кадесников [и др.] ; под ред. В.Н. Ефименко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. – 247 с.
13. *Сухоруков, Ю.М.* Пористые каменные дорожно-строительные материалы / Ю.М. Сухоруков. – М. : Транспорт, 1984. – 143 с.

## REFERENCES

1. *Kazarnovsky E.L., Polunovsky A.G., Ruvinsky V.I., et al.* Sinteticheskie tekstil'nye materialy v transportnom stroitel'stve [Synthetic textile materials in transport construction]. Moscow: Transport Publ., 1984. 159 p. (rus)
2. *Goncharova L.V.* Osnovy iskusstvennogo uluchsheniya gruntov (tehnicheskaya melioratsiya gruntov) [Bases of artificial improvement of soil (technical melioration of soil)]. Moscow: MSU Publ., 1973. 376 p. (rus)
3. *Bezruk V.M.* Ukreplenie glinistykh gruntov [Clay soil strengthening]. Moscow: Transport Publ., 1965. 340 p. (rus)
4. *SNiP 34.13330.2012.* Avtomobil'nye dorogi [Automobile roads]. Moscow, 2013. 139 p. (rus)
5. *Efimenko V.N.* Plazmennaya obrabotka granulirovannogo glinistogo grunta pri proizvodstve keramicheskogo materiala dlya stroitel'stva osnovaniya dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog : avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk [Plasma processing granulated clay soil in ceramic material production for road pavements. DSc Abstract]. Tomsk, 1994. 37 p. (rus)
6. *Vasilyev A.P., Maryshev B.S., Silkin V.V., et al.* Stroitel'stvo i rekonstruktsiya avtomobil'nykh dorog [Road construction and reconstruction of highways]. Moscow: Informavtodor Publ., 2005. 646 p. (rus)
7. *Boldyrev, P.P. Zolotov, Lyusov A.N., et al.* Stroitel'nye materialy: Spravochnik [Construction materials. Reference book]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1989. 567 p. (rus)
8. *Zhukov M.F., Neronov V.A., Lukashov V.P., et al.* Novye materialy i tekhnologii. Ekstremal'nye tekhnologicheskie protsessy [New materials and technologies. Extreme technological processes]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992. 183 p. (rus)
9. *Polak A.S.* Ispol'zovanie plazmy v khimicheskikh protsessakh [Use of plasma in chemical processes]. Moscow: Mir Publ., 1970. 255 p. (rus)
10. *Charykov Yu.M.* Tekhnologiya skorostnoi vysokotemperaturnoi obrabotki glinistykh gruntov: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk [High-speed high-temperature processing of clay soil. PhD Thesis]. Tomsk, 2003. 155 p. (rus)
11. *Efimenko V.N., Charykov Yu.M., Putyatina S.M.* Rezul'taty protsessa konvektivnogo teploobmena v sisteme «gazovaya sreda – chastitsa grunta» pri obosnovanii tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva keramita [Results of convective heat exchange in gas environment–soil particle system at justification of technological parameters of ceramic production]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 2. 238 p. (rus)
12. *Efimenko V.N., Charykov Yu.M., Kadesnikov A.P., et al.* Novye metody i geotekhnologii preobrazovaniya gruntov energiei plazmy i SVCh-polya v stroitel'stve [New methods and geotechnologies of plasma energy transformation in soils and microwave field in construction]. Tomsk: TSUAB Publ., 2003. 247 p. (rus)
13. *Sukhorukov Yu.M.* Poristye kamennye dorozhno-stroitel'nye materialy [Porous road-building rock materials]. Moscow: Transport Publ., 1984. 143 p. (rus)

**Сведения об авторах**

*Ефименко Владимир Николаевич*, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko\_80@mail.ru

*Чарыков Юрий Михайлович*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, char62@mail.ru

**Authors Details**

*Vladimir N. Efimenko*, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko\_80@mail.ru

*Yurii M. Charykov*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, char62@mail.ru