БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 691

DOI: 10.22227/1997-0935.2018.1.95-106

НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ БОГОРОДИЧНОЙ КАНАВКИ СЕРАФИМО-ДИВЕЕВСКОГО МОНАСТЫРЯ

С.Н. Чернышев, В.И. Дарчия, А.В. Кофанов, Н.Г. Тазина¹, Д.В. Тимофеев

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26;*

*¹Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49*

Предмет исследования: в статье рассмотрены конструкция, технологии строительства, озеленения и эксплуатации воссоздаваемой Богородичной Канавки Свято-Троицкого Серафимо-Дивеевского монастыря — линейного земляного сооружения, состоящего из рва и вала, расположенного непосредственно над рвом.

Цели: обеспечить устойчивость откосов, создать методику озеленения крутых грунтовых откосов в сложных микроклиматических условиях, обеспечить водоотведение.

Материалы и методы: применены расчетные методы для обеспечения устойчивости откосов и экспериментальные методы для их фитоукрепления, использованы геосинтетики, арматурные решетки, сортовые травы, крыжовник и туя.

Результаты: для уникального сооружения создан специальный комплекс проектно-исследовательских и строительных работ, а также работ по поддержанию сооружения в ходе его эксплуатации. Разработаны способ отыскания воссоздаваемого рва на основе стратификации насыпных грунтов по их возрасту; методы крепления откосов; для откосов рецептура газонных травосмесей для откосов с углами 45° и 65°; система водоотведения.

Выводы: разработанные методики могут быть использованы для воссоздания оборонительных сооружений на полях великих сражений и при благоустройстве территорий со сложным рельефом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фортификационное сооружение, глинистые грунты, пески, крутые откосы, вал, ров, фитоукрепление откосов, геосинтетик, Русская Православная Церковь, покровные глины, дренажные колодцы, эрозия, оползни

Благодарности. Коллектив авторов благодарит В.И. Теличенко и М.В. Королева, поддержавших проектные и исследовательские работы на св. Канавке в период своего руководства в МГСУ, игуменio Свято-Троицкого Серафимо-Дивеевского монастыря Сергию (Конкову) — за доверие к нашим техническим решениям и поддержку при их реализации, Е.В. Щербину — за значительный вклад в проведение проектных работ на св. Канавке, рецензентов — за доброжелательное отношение к нашему труду и за замечания.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чернышев С.Н., Дарчия В.И., Кофанов А.В., Тазина Н.Г., Тимофеев Д.В. Научное сопровождение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации Богородичной Канавки Серафимо-Дивеевского монастыря // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 1 (112). С. 95–106.

SCIENTIFIC SUPPORT OF SURVEY, DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF THE MOTHER OF GOD DITCH OF SERAPHIMO-DIVEEVSKY MONASTERY

S.N. Chernyshev, V.I. Darchia, A.V. Kofanov, N.G. Tazina¹, D.V. Timofeev

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;*

*¹ Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University (HE RT SAU),
49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation*

Subject: the article describes the structure, technologies of construction, gardening and exploitation of the Holy Trinity Seraphimo-Diveevsky Monastery — the ancient linear fortification consisting of a ditch and an earth embankment that is located directly above the ditch.

Research objectives: ensure the stability of slopes, create a technique for gardening of steep slopes in difficult microclimatic conditions, ensure drainage of water.

Materials and methods: the computational techniques were used to ensure stability of slopes, and experimental techniques were applied for their phyto-fixation; geosynthetics, rebar grids, varietal herbs, gooseberries and thuja were used.

Results: for recreation of the unique structure, a special set of design, survey and construction works was developed, as well as works to maintain the structure during its exploitation. In particular, we have developed the method of detection of the recreated ditch based on the stratification of bulk soils by their age; the methods for fastening the slopes; lawn grass mixture formula for slopes with angles of 45° and 65°; drainage system.

Conclusions: owing to the research work, for the first time this construction was completed with the required parameters, while the earlier recreation attempts failed due to erosion and landslide processes. The developed methods can be applied for recreation of other ancient defensive fortifications on the fields of great battles and for landscaping the territories with complex relief.

KEY WORDS: fortified structure, clay soils, sands, steep slopes, earth embankment, ditch, slope phyto-reinforcement, geosynthetic, Russian Orthodox Church, integumentary clays, drainage wells, erosion, landslides

Acknowledgements: The authors are grateful to V.I. Telichenko and M.V. Korolev, who were supporting design and survey works on St. Groove during their leadership in MGSU, abess of the Holy Trinity Seraphimo-Diveevsky Monastery Sergey (Konkov) — for trusting our technical solutions and support in their implementation, E.V. Scherbina — for a significant contribution to conduction of the design work on St. Groove, and reviewers — for kind attitude to our work and for their remarks.

FOR CITATION: Chernyshev S.N., Darchia V.I., Kofanov A.V., Tazina N.G., Timofeev D.V. Nauchnoe soprovozhdenie izyskaniy, proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii Bogorodichnoy kanavki Serafimo-Diveevskogo monastyrya [Scientific support of survey, design, construction and operation of the Mother of God ditch of Seraphimo-Diveevsky Monastery]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, vol. 13, issue 1 (112), pp. 95–106.

ВВЕДЕНИЕ

Богородичная Канавка Свято-Троицкого Серафимо-Дивеевского монастыря представляет собой линейное инженерное сооружение длиной 777 м. В 1997–2004 гг. по проектам сотрудников МГСУ, на основе проведенных ими инженерных изысканий, сооружение было воссоздано в параметрах, предложенных преподобным Серафимом Саровским. Эксплуатация сооружения проводится при консультациях и всесторонней помощи со стороны авторов [1].

В статье рассмотрены конструкция, технологии строительства, озеленения и эксплуатации воссоздаваемого линейного земляного сооружения, состоящего из рва глубиной 2,15 м и вала высотой 2,15 м, расположенного непосредственно над рвом. Общая высота откосов в глинистом грунте 4,30 м, заложение откосов по архитектурному решению — 2:1 и 1:1.

Цель проведенного исследования — обеспечить устойчивость откосов в ходе эксплуатации сооружения на неограниченный срок, разработать режим эксплуатации и профилактических ремонтов, создать методику озеленения крутых грунтовых откосов в контрастных и сложных микроклиматических условиях, обеспечить автоматическое водоотведение из рва на равнине, повсеместно превышающей отметки оси рва. В целом задача авторского коллектива — воссоздать уникальное сооружение и обеспечить его безаварийную эксплуатацию на многие десятилетия.

В составе сооружения, кроме рва и вала, имеется дорожка по валу шириной 2,13 м с кованой оградой на специальном фундаменте, смонтированном над откосом и являющемся одновременно противооползневым устройством, а также системы водоотведения, освещения, полива зеленых насаждений.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Сооружения Богородичной Канавки выполнены по завету великого святого Русской Православной Церкви известного во всем мире преподобного Серафима Саровского. Впервые Богородичная Канавка была прорыта в 1829–1831 гг. [1]. Первым строителям не удалось выполнить ее в параметрах, заданных их наставником, чему препятствовали оползни в 2016 г. и эрозия бортов рва и откосов вала. Выполнение в полный профиль было отложено на будущее и состоялось только в 1997–2004 гг. [2]. Попытки выполнить земляное сооружение предпринимались в конце XIX и в конце XX в., но без современных технических средств и технологий это было невозможно. Потому Свято-Троицкий Серафимо-Дивеевский монастырь обратился в 1997 г. в МГСУ с просьбой оказать техническое содействие воссозданию уникального сооружения. Уникально это сооружение не только по его духовному содержанию, но и по архитектурному решению, которое трудносовместимо с материалом откосов — глинистым грунтом — при условии, что откосы должны быть «естественными», со скрытым креплением, и работать на протяжении многих десятилетий.

В основу технических решений МГСУ по закреплению откосов были положены геомеханические расчеты устойчивости и компенсация дефицита устойчивости с помощью современных геосинтетических материалов, созданных на рубеже XX и XXI вв. [3–10] в период строительства Богородичной Канавки. В разработке и внедрении этих материалов активно участвовала профессор МГСУ Е.В. Щербина. Она же консультировала по поводу применения этих материалов на Канавке. Проблема противооползневой устойчивости решалась с ее помощью и благодаря ее тесным связям с немецкими

учеными, которые на тот момент лидировали в создании геосинтетических материалов.

Противоэрозионная устойчивость откосов не может быть полностью обеспечена без фитоукрепления грунта. Фитоукрепление откосов представляет собой научную проблему, которая рассмотрена в работах [11–19]. Решение ее было проработано агротехниками применительно к площадкам с наклоном до 30°. В агротехнической литературе откосы с углом до 30° отнесены к крутым откосам. Но на Богородичной Канавке откосы имеют углы 45° и 65°. Здесь нужны были новые решения, такие решения были найдены [20–22] в ходе научного сопровождения работ по воссозданию Богородичной Канавки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным материалом для создания откосов рва и вала Богородичной Канавки явились местные тяжелые суглинки и легкие глины, которые по геологической генетической классификации относятся к покровным отложениям. В природном состоянии они имеют твердую и полутвердую консистенцию. В откосах и насыпи и вала они подвергаются замачиванию от атмосферных осадков и полива насаждений и теряют прочность, присущую глинистым грунтам в маловлажном состоянии. Потому для укрепления их применялись технические и технологические методы. Осуществлялось трамбование грунтов вала легкими ручными трамбовками, покрытие откосов сеткой Энкамат, стальными сварными арматурными решетками с укреплением, деревянными рейками, которые использовались в качестве распоров между крутыми бортами рва. Существенную роль в укреплении откоса вала сыграл сварной стальной фундамент ограды, смонтированной по верху вала для ограждения дорожки по валу. Заложенные в тело вала швеллеры служили опорой для дорожки, но они, пересекая вал в горизонтальной плоскости, армировали его, являясь таким образом удерживающим элементом, препятствующим срезу грунта оползнем.

В агротехнических экспериментах в качестве материалов были использованы семена газонных трав, а также местный чернозем для замены глинистого грунта в корнеобитаемом слое. Использовались органическое удобрение Биогумус и различные минеральные удобрения. Агротехнические эксперименты проводились на откосах площадью около 150 м² на делянках с разной степенью освещенности. Травосмеси подбирали применительно к уровню освещенности. Эксперимент с выращиванием трав не может быть завершен за один сезон. Результаты выращивания многолетних трав приблизительно можно оценить на второй год после посева, а точно на третий и четвертый годы. Результаты оценивались по стандартной для газонов методике Лаптева.

ХОД И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе выполнения работ предстояло найти и применить множество научных решений с учетом уникального устройства сооружения.

В первую очередь, необходимо было определить трассу по ее сохранившимся под землей остаткам. Затем создать общий топографический план территории будущего строительства и фиксировать на нем выявленную ось Канавки.

При подготовке и реализации строительных работ использовались как современные методы расчета различных характеристик, так и новейшие технологии. Так, при изысканиях необходимо было определить расчетные характеристики грунтов, в которых осуществляется выемка, назначить характеристики проектируемых насыпных грунтов, разработать мероприятия по противооползневому и противоэрозионному укреплению откосов.

Много позже завершения строительных работ, через 7 лет, в процессе эксплуатации сооружения выявилась необходимость на научной основе разработать технологию создания газонов на сверхкрутых (до 65°) по агротехническим представлениям откосах в сложных микроклиматических условиях.

Самостоятельной задачей проектирования явилось требование разработать систему водоотведения ливневых и снеговых вод с Богородичной Канавки как из бессточной траншеи. Решение названного комплекса задач, часть из которых носила научно-исследовательский характер, осуществлялась преимущественно силами специалистов МГСУ.

Для решения агротехнических задач обратились на кафедру луговодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Полевые топографические работы: тахеометрическая съемка и привязка разведочных шурфов, — были выполнены геодезистом монастыря В.П. Волковским и обработаны им по программе GEOCAD.

По условию, выдвинутому монастырем, все работы проводились вручную, в чем заключалась уникальность организации строительства, что отразилось и на конструкции сооружения и на качестве укладки грунта и, как следствие, устойчивости откосов.

По мере выполнения разведочных и строительных работ, составленный в 1998 г. топоплан масштаба 1:500 непрерывно обновлялся. Сами инженерно-геологические исследования выполнялись преимущественно методом шурфования по предполагаемой трассе древнего сооружения с целью обнаружить в разрезах грунтов следы ликвидированного сооружения, рва и вала.

Вал по указанию преподобного Серафима был сложен насыпными грунтами, уложенными горизонтальными слоями на почвенный слой. Вскрытые при изысканиях лежащие на почве слоистые древние насыпные грунты являются признаком утрачен-

ного вала. Как выяснилось, в большинстве мест вал был скрыт, но в отдельных местах он сохранился. Вал можно было идентифицировать по слагающим его насыпным грунтам.

Исследование усложнялось тем, что специфические грунты раннего вала сверху и с боков были засыпаны слоем насыпных грунтов уже в XX в. Отделить более поздние слои насыпных грунтов советского времени удалось благодаря многочисленным включениям кирпича и других обломков монастырских зданий, которые сносились в советское время, а также включением новых материалов XX в., таких как резина, полиэтилен, металлопрокат, бетон, асфальт, консервные банки. Анализ этих включений позволил датировать насыпные грунты с точностью до полувека, что было достаточно для решения поставленной задачи: поиска грунтов насыпи первой половины XIX в. Метод датировки насыпей был разработан при начале изыскательских работ, тогда же были определены признаки насыпей разного возраста.

При поиске рва Канавки гипотеза была сходная: ров был заполнен дважды: в середине XIX в.

и в середине XX в. насыпными грунтами, состав которых различен. Ров был врезан под почву в форме канавы глубиной 2,13 м и шириной по верху 2,13 м. Наличие в стенке разведочного разреза засыпанной насыпными грунтами выемки указанного размера свидетельствовало об обнаружении данной разведочной выемкой искомого рва. По составу насыпных грунтов и наличию датирующих включений можно было определить возраст выемки и время ее ликвидации. В большинстве разведочных шурфов и разрезов удалось обнаружить следы двух ровов различных периодов по составу включений в насыпные грунты. Фоном, на котором в стенке разведочного разреза «нарисован» искомым ров, повсеместно являлись четвертичные покровные суглинки и глины, однородные, без каких-либо включений, макропористые, равномерно окрашенные в бурый цвет. Насыпные грунты, полученные преимущественно из того же материала, отличались отсутствием макропор и более пестрой окраской с серым оттенком.

На рис. 1 приведена зарисовка разведочного разреза № 53, вскрывшего первичный ров Канавки,

Рис. 1. Зарисовка разведочного разреза № 53: проектный профиль — жирная линия; 2 — покровные глины; 3 — серый древний почвенный слой; 4 — насыпь древнего вала; 5 — насыпной грунт в первичном рве Канавки; 6 — насыпной грунт XX в., лежащий во вторичном рве и повсеместно слоем по поверхности земли (цифра 1 отсутствует, так как в проектно-изыскательских материалах ей обозначены пески, которые подстилают повсеместно покровные глины, но в данном разрезе не вскрыты)

прорытый при жизни автора проекта сооружения великого русского святого, всемирно известного преподобного Серафима Саровского¹.

Этот ров был закопан в середине XIX в., и на его месте в 70-е гг. того же века открыт новый ров. След этого рва также удалось идентифицировать в показанном разрезе. Сохранились в этом месте и остатки невысокого вала. Оба рва были в XIX в. прорыты меньше требуемой глубины в 2,13 м, равной трем аршинам, которые как меру глубины и ширины рва указал отец Серафим.

Современное сооружение, выполненное по проекту МГСУ, соответствует всем размерам, завещанным преподобным Серафимом. Выявленная разрезами ось рва Канавки была нанесена на проектный генплан сооружения. На местность ее выносить не приходилось, так как она была отмечена многочисленными шурфами-разрезами. Длина таких поисковых разрезов достигала 18 м, поскольку положение искомого рва было только приблизительно известно по результатам опроса старожилов и по весьма неточному плану масштаба 1:10000, составленному в 1925 г. Глубина их местами превышала 3 м из-за слоя насыпных грунтов, покрывших в XX в. древний рельеф в селе Дивеево. В результате разведочных работ положение оси сооружения на участках интерполяции между шурфами-разрезами было установлено с точностью не менее 0,5 м.

Для наименования разведочной выработки здесь применяется двойное название. Термин «шурф» обозначает выработку длиной около 2 м при ширине порядка 1 м. Протяженные разведочные выработки геологи называют канавками. Но это слово использовано в названии сооружения и потому неудобно для обозначения разведочной выработки. Нанесенная на генплан ось сооружения оконтуривала площадь 2,995 десятины. Преподобный Серафим получил в дар от помещицы Веры Андреевны Постниковой (Баташевой) три десятины земли, которые в марте 1829 г. землемером были вынесены на местность, обозначены колышками и пирамидками. Впоследствии граница дареной земли была закреплена сооруженной Канавкой. Важно, что обнаруженная при современных исследованиях ось оконтуривает с высокой точностью именно три десятины земли.

На проектном профиле, показанном на рис. 1, откосы изображены в масштабе 1:1 жирной линией. Такие крутые откосы в глинистом грунте не могут стоять без крепления. В них развиваются опасные геологические процессы поверхностной плоскостной эрозии, пучения при замерзании и медленно-пластического течения грунта, которое местами иногда переходит в быстрое оползание.

Эти процессы, за исключением оползания, не угрожают целостности сооружения, но искажают его внешний вид и изменяют размеры, установленные преподобным Серафимом, которые заказчик-монастырь считает необходимым сохранять на все времена. Целостности сооружения, устойчивости его откосов угрожает оползневой процесс. Поэтому для расчета устойчивости откосов лабораторно были определены расчетные характеристики: угол внутреннего трения и сцепление глинистых грунтов, а также плотность грунтов. Более точное определение этих характеристик выполнено А.Я. Егоровым методом обратного расчета по результатам обмера оползня, произошедшего на Канавке в 1998 г., в начале работ по ее воссозданию, когда у исполнителей земляных работ еще не было достаточного опыта по послойной укладке грунта в вал с тщательным трамбованием.

На основании полученных расчетных характеристик разными авторами в разные годы проверялась гипотеза о возможном образовании оползня на откосе вала с уклоном 1:1, который возвышается над более крутым с уклоном 2:1 откосом рва. Суммарная высота откоса 4,26 м. На рис. 2 приведены потенциально опасные поверхности смещения и коэффициенты запаса устойчивости, полученные разными авторами. Все коэффициенты запаса устойчивости больше единицы, что свидетельствует о потенциальной устойчивости откосов. Однако превышение над единицей в некоторых случаях невелико.

Надо отметить, что для глинистых грунтов Канавки характерна изменчивость прочностных характеристик во времени. Они снижаются при увлажнении грунтов и при нарушении технологии покрытия.

Так, в 1998 г. перед оползнем в октябре на влажный от морозящих дождей откос выпал слой снега толщиной около 10 см и растаял за несколько часов. Вода впиталась в грунт и вызвала оползание вала на протяжении 80 м.

В 2016 г. после ремонта вала и наращивания его по высоте произошел ряд оползней. Откос наращивался нанесением на него мягко пластичной глины, на которую стелили рулонный газон. Глина укреплялась геосинтетиком. После завершения работ прошел ливень с градом, вызвавший дополнительное увлажнение откосов и потерю устойчивости.

Третий случай потери устойчивости имел место в 2014 г. Ранней весной трещины отрыва появились на откосе, интенсивно прогреваемом солнцем. Очевидно, в глубине вала грунты были еще в мерзлом состоянии, а дециметры поверхностного слоя уже оттаяли. Талые воды сосредоточились на границе сезонной мерзлоты, создав поверхность скольжения примерно параллельную плоскости откоса. Началось оползание, но оно вскоре прекратилось, оползающий блок прошел 5...10 см и остановился в связи с изменением погодных условий.

¹ Преподобный Серафим, правда, отказывался от авторства, говоря, что по своей воле ничего не устраивал в Дивеево, а только по велению Пресвятой Богородицы.

Рис. 2. Расчетные поверхности скольжения и коэффициенты запаса устойчивости на них по расчетам Е.В. Щербины, А.Я. Егорова, М.А. Сабировой

Эти случаи заставляют держать во рву распоры, которые препятствуют оползанию. Распоры (рис. 3) ломают пучение грунта, вектор силы которого во рву направлен перпендикулярно плоскости откоса.

Противоэрозийное укрепление откосов было выполнено по рекомендации и под контролем Е.В. Щербины в 2003 г. на основе применения немецкой геосинтетической сетки — Энкамата. Рулонный материал укладывался перпендикулярно оси сооружения по всему профилю от внутреннего поля, огражденного валом, до внешнего поля за пределами рва. Рулонный материал пришит скобами к грунту. На него на откосах рва положена арматурная решетка с ячейкой 250 мм, которая пришита анкерами длиной 700 мм и удерживается распорами. Прочность Энкамата за 10 лет работы изменилась различным образом: не снизилась там, где он находился в грунте, но снизилась на открытых участках, где он подвергался солнечному облучению из-за отсутствия газонного покрытия [2].

Следует отметить, что известные работы [3–9] описывают в основном применение Энкамата в более мягком западноевропейском климате. Поэтому было важно выяснить его эксплуатационную пригодность в условиях континентального климата восточной части европейской территории России.

Наиболее сложным стало решение агротехнической задачи по поддержанию газонного покрытия по всему периметру Канавки. Она была поставлена перед специалистами МГСУ уже в ходе эксплуата-

Рис. 3. Крепление откосов рва арматурной решеткой с деревянными распорами

ции сооружения в 2012 г. Озеленению подлежали откосы с крутизной, много превышающей крутые откосы, рассмотренные ранее в соответствующей литературе [10–18].

Кроме того, озеленение проводилось на закрытых газонами и кустарниковой растительностью откосах, да еще в сложных микроклиматических условиях.

Опыты с применением биоматов не дали положительного результата: биоматы не удалось плотно прижать к поверхности откоса даже там, где он имеет наклон 45°. На более крутых откосах это оказалось тем более невозможно.

Экспериментальные работы по озеленению откосов группа специалистов МГСУ провела в 2013–2015 гг. на основе решений, предложенных Н.Г. Тазиной [19–20].

После соотнесения с микроклиматическими условиями откосы были разделены на три группы: интенсивно освещенные, умеренно освещенные и затененные. На интенсивно освещенных участках до эксперимента трава выгорала, палимая лучами солнца, падающими в середине дня перпендикулярно плоскости откоса. На затененные откосы лучи солнца вовсе не попадали, либо падали на них под острым углом, не прогревая почву. Дополнительное отрицательное воздействие оказывало отсутствие аэрации. Трава на данных участках росла плохо и вытеснялась мхом.

Требования к газонам на Канавке не вполне соответствуют требованиям к газонам парков и спортивных полей, для которых в основном разработана технология выращивания газонов.

Особенность газона на крутом откосе заключается в том, что необходимо создавать плотную однородную дернину с развитой и заглубленной корневой системой, которая будет сохранять прочность даже в период весеннего протаивания грунта. В это время почва и подпочвенные глины переувлажнены, имеют минимальные прочностные характеристики и склонны к солифлюкции — медленному пластическому течению вниз по откосу. В газоне на крутых откосах нужны «вершки и корешки».

В то же время нет жесткого требования к гладкости плоскости газона, которое предъявляется для игровых полей. На поверхности откоса можно допустить пологую волну, лишь бы она не мешала скашиванию. Такая волна возникает на откосе из-за небольших пластических подвижек подпочвенных грунтов вниз по склону. Требования к газонам на Канавке не вполне соответствуют требованиям к газонам парков и спортивных полей, для которых в основном разработана технология выращивания газонов, так как травяной покров откосов, кроме украшения сооружения, выполняет функцию противозерозионного закрепления.

Незначительное отклонение от плоскости только украшает сооружение, уводит его от стандартов казармы и версальской эстетики в сторону эстетики русского сада.

Среди трав предпочтение было отдано овсянице красной (*Festuca rubra*) как злаку, хорошо зарекомендовавшему себя в газонах различного назначения, сохранившемуся на откосах рва и вала различных экспозиций в течение 9 лет с 2003 по 2012 г. (табл.).

Другие травы — плевел многоцветковый или райграс многоукосный (*Lolium multiflorum* Lam.) рыхлокустовой злак. В смеси «Солнце» при сходной массовой доле семян овсяницы численно гораздо больше, чем райграса. По замыслу, с начала роста сплошное травяное покрытие обеспечивается за счет райграса, затем его постепенно должна вытеснить овсяница красная.

В травосмеси «Тень» 50 % семян овсяницы красной и 40 % мятлика по массе. Семена мятлика лесного гораздо мельче семян овсяницы, потому в травосмеси по количеству семян преобладает мятлик лесной или мятлик дубравный (*Poa nemoralis* L.). Самое важное его преимущество — теневыносливость. Мятлик лесной хорошо разрастается среди других злаков, может выносить густую тень, поэтому важно было исследовать, как он будет расти и развиваться в условиях сильного затенения, особенно внизу рва. Мятлик лесной не выносит частой стрижки, так как истощается и пропадает. Его скашивают не

Смеси семян для солнечных, теневых и полутеневых откосов

Травосмесь	Состав травосмеси	Массовая доля в травосмеси, %
«Солнце»	Овсяница красная, <i>Festuca rubra</i> , сорт Индепенденс	40
	Плевел многоцветковый, <i>Lolium multiflorum</i> Lam., сорт Прана	30
	Райграс многоукосный, сорт Родайриннер	30
«Полутень»	Овсяница красная, <i>Festuca rubra</i> , сорт Индепенденс	50
	Плевел многоцветковый, <i>Lolium multiflorum</i> Lam., сорт Прана	40
	Райграс многоукосный, сорт Родайриннер	10
«Тень»	Овсяница красная, <i>Festuca rubra</i> , сорт Индепенденс	50
	Мятлик лесной, <i>Poa nemoralis</i> L., сорт Шедоу	50

чаще 1–2 раз за сезон, что является преимуществом по сравнению с традиционными газонными травами, особенно в условиях труднодоступного для стрижки низа, где уклон составляет 65°, и дна рва. Но мятлик лесной оказался совсем незимостойким, поэтому он совсем непригоден для наших целей.

Одним из самых устойчивых и вездесущих растений является пырей ползучий (*Elytrigia repens* L., *Agropyron repens* L.), который в средней полосе России не выращивается как культурное растение, но в условиях сильнейшего затенения, переувлажнения, особенно внизу рва, может быть также пригоден. Благодаря глубокому расположению корней, а также их сильному сплетению легко переносит засуху и морозы, но, как и мятлик, плохо переносит многократные скашивания. Поэтому обычно он не применяется в газонах на ровных площадках.

Но для укрепления грунта Канавки пырей ползучий мог подойти. Группа начала эксперимент с ним на склонах северной экспозиции, где медленный прирост не требует частого скашивания.

Все названные злаки достигают необходимого для газона развития на второй, а овсяница красная и пырей ползучий даже на третий год жизни. В нестандартных условиях эти сроки могут отодвигаться. Как предполагалось, корневые системы выбранных злаков наиболее плотно осваивают плодородную почву до глубины 15...20 см и прочно свяжут Энкамат с подстилающим почвогрунтом. А создаваемый ими зеленый ковер на основе Энкамата или другой аналогичной геосинтетической сетки будет служить надежной противозерозионной защитой для откосов. Поэтому высаженные смеси смогут обеспечить необходимое качество газонов в течение 8–10 лет при надлежащем уходе. После проверки на опытных участках, смеси подлежали посеву на всей площади Канавки.

Для глубинного укрепления откосов на валу, в дополнение к злаковым травам, посажены кусты крыжовника. Крыжовник, благодаря особенностям строения и вегетации его корневой системы, из всех плодово-ягодных культур наиболее пригоден для стабилизации откосов, особенно на глинистых грунтах Канавки с учетом текстурных особенностей этих грунтов. Применение крыжовника было указанием преподобного Серафима, но в дореволюционные годы его, видимо, не высаживали. Он не просматривается на фотографиях Канавки дореволюционного времени. Сотрудниками РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева были рекомендованы и закуплены сортовые саженцы крыжовника, которые размножены и рассажены по всей длине сооружения.

Следует отметить, что рекомендации по фитоукреплению откосов, предложенные специалистами МГСУ, пока не используются на Святой Канавке ввиду трудоемкости процедур выращивания газонов на откосах.

На данном этапе заказчик отдал предпочтение озеленению откосов рулонными газонами, которые

впервые были положены в 2013 г., и в настоящее время находятся в хорошем состоянии на интенсивно освещаемых откосах и в полутени. На затененных участках на третий год рулонные газоны дают удовлетворительный травостой с 50%-но проективным покрытием.

Отдельную проблему представляло водоотведение из рва Канавки. Ров длиной 777 м имеет небольшие уклоны, достаточные для стекания дождевых и талых вод по бетонному лотку, устроенному на дне рва. Вода сбегает к точкам с минимальными абсолютными отметками дна. Таких точек на протяжении сооружения три. В этих точках за пределами рва, но рядом с ним устроены поглощающие колодцы, которые сбрасывают воду в пески, подстилающие упомянутые и изображенные на рис. 1 покровные глины. Очень удачно, что под глинами повсеместно на небольшой глубине залегает толща кварцевых песков, хорошо водопроницаемых. Почти горизонтальный безнапорный уровень подземных вод в песках находится на глубине 15...20 м от поверхности. Подземные воды в 1 км от Канавки поступают в реку Вичкинзу. Несомненно, что вода, поступающая через поглощающие колодцы, чище воды, поступающей в реку по поверхности земли. Конструкция колодцев разработана специалистами НИУ МГСУ. В ней предусмотрены отстойники, которые препятствуют скорому заилению дна колодца, через которое вода уходит в песок.

В заключение отметим: комплекс изыскательских и проектных работ выполнялся наряду с различными научными исследованиями, поисками научных и разработкой технических решений [21]. Это способствовало стратификации насыпных грунтов с установлением их возраста, технологии озеленения в сложнейших микроклиматических условиях крутых, превышающих требования агротехнических норм откосов, разработка системы водоотведения, а также исследования геологических процессов в глинистых грунтах на крутых откосах, расчетный анализ устойчивости откосов с применением обратного расчета для оценки характеристик грунтов не в образцах, а в массиве.

ВЫВОДЫ

Научное сопровождение проектно-изыскательских работ на стадии строительства и научное сопровождение эксплуатации объекта позволило создать и сохранить в условиях деятельности геологических процессов, уникальное земляное сооружение, которое посещают миллионы верующих православных людей из разных концов России, Ближнего и Дальнего Зарубежья. Полученный опыт возможно использовать при создании прочих глинистых откосов крутизной более 30°.

Комплекс изыскательских, проектных работ, а также работ по поддержанию сооружения в ходе эксплуатации сопровождался различными науч-

ными исследованиями, поисками научных и разработкой технических решений [21]. На стадии изысканий разработан способ стратификации насыпных грунтов с установлением их возраста по составу и количеству антропогенных включений, а также выполнен расчетный анализ устойчивости откосов с применением обратного расчета для оценки прочностных характеристик глинистых грунтов не в образцах, а в массиве. На стадии проектирования разработана система водоотведения экологически чистых метеорных вод через парные Энкамат в сочетании с армированием насыпи вала стальной сварной конструкцией ограды, устроенной по верху вала. На стадии эксплуатации проведены многолетние наблюдения и исследования геологических процессов в глинистых грунтах на крутых откосах; разработаны и проверены в ходе трехлетнего эксперимента технологии озеленения крутых, до 65° откосов, много превышающих по крутизне требования агротехнических норм, к тому же в сложнейших микроклиматических условиях. Научное сопровождение проектно-изыскательских работ, строительства и эксплуатации объекта позволило создать и сохранить, в условиях деятельности геологических процессов, уникальное земляное сооружение, по которому ежедневно проходят многие тысячи человек из разных концов России, Ближнего и Дальнего Зарубежья, которое посещают святейший Кирилл, Патриарх Московский и всея Руси, православные епископы и государственные деятели России.

Воссоздание на пустыре уникального по святости и по техническим параметрам инженерного сооружения имеет большое историко-культурное значение. Канавка построена в формах, завещан-

ных всемирно почитаемым русским святым, преподобным Серафимом Саровским. Заданный им профиль сооружения в прошлые века выполнить было технически невозможно. Современные научно-технические методы, которыми владеют ученые НИУ МГСУ, впервые позволили создать сооружение с той крутизной откосов и той глубины, которые были определены заказчиком в начале XIX в. Попытки создать сооружение в заданных параметрах в 1829–1830 гг. были прерваны оползнями, эрозией и с тех пор не возобновлялись до описанных в статье работ. В те годы по согласованию с заказчиком, самим преподобным Серафимом, ров и вал были открыты и насыпаны на неполную глубину и высоту, лишь с целью обозначить план сооружения, преподобный Серафим сказал: «Потом дороуют». Теперь «потом» наступило. История строительства Канавки показывает непрерывность культурной традиции, связь времен от начала XIX века и доныне. Над созданием и поддержанием Канавки трудились в течение 175 лет люди многих поколений. Строительство завершено. В течение 13 лет благополучно идет эксплуатация сооружения. В 2014–2016 гг. выполнен «косметический» ремонт.

Современная святая Канавка создана в содружестве церковных и государственных учреждений под руководством двух сопредседателей оргкомитета по проведению в 2003 г. празднования 100-летия со дня прославления преподобного Серафима, каковыми были постоянный член Священного Синода Русской Православной Церкви митрополит Минский Филарет (Вахромеев) и полномочный представитель Президента в Приволжском федеральном округе С.В. Кириенко. Опыт строительства показывает плодотворность такого сотрудничества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышев С.Н. Святая Богородичная Канавка в Дивееве. История и воссоздание // Мир Божий. 2009. № 13. С. 108–112.
2. Дарчия В.И., Пашкевич С.А., Пуляев И.С. и др. Влияние условий освещенности откосов на эксплуатационные свойства геосинтетических сеток на основе полиамида-6 // Вестник МГСУ. 2013. № 12. С. 101–108.
3. Щербина Е.В., Теличенко В.И., Алексеев А.А. и др. Геосинтетические материалы: классификация, свойства, область применения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 5. С. 97–102.
4. Щербина Е.В. Геосинтетические материалы в строительстве. М. : Изд-во АСВ, 2004. 112 с.
5. Clay geosynthetic barriers / Gartung E., Zanziger H., Koerner R.M. eds. Tokyo, A.A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton, 2002, 399 p.
6. Estermann U., Bläsing P., Öster R. Bewernung von Eisenbahndämmen mit Geokunst stiften auf der ABS Berlin — Hamburg : 4. Informations- und Vortragsveranstaltung über “Kunststoffe in Geotechnik”. München, 1995, pp. 160–166.
7. Schade H.W., Fischer S. Gründungen von Straßendämmen auf einem Moor mit Hilfe von Geotextilien : 6. Informations- und Vortragsveranstaltung über “Kunststoffe in Geotechnik”. München, 1999, pp. 59–64.
8. Scherbina E. Brückenrampe aus bewehrter Erde in Moskau: 6. Informations- und Vortragsveranstaltung

über "Kunststoffe in Geotechnik". München, 1999, pp. 65–70.

9. Zanzinger H., Aleksiew N. Long-term internal shear testing on clay geosynthetic barriers // Clay geosynthetic barriers / Gartung E., Zanziger H., Koerner R.M. eds. Tokyo, A.A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton, 2002, 399 p. Pp. 111–117.

10. Володина Л.А., Хайдуков К.П. Влияние агрохимических показателей почвы на устойчивое развитие травяного покрова на склонах музея-заповедника «Коломенское» // Научное обозрение. 2014. № 5. С. 47–52.

11. Uren H.V., Dzidic P.L., Bishop B.J. Exploring social and cultural norms to promote ecologically sensitive residential garden design // Landscape and Urban Planning. May 01, 2015. Vol. 137. Pp. 76–84.

12. Burt J.W. Developing restoration planting mixes for active ski slopes: A multi-site reference community approach // Environmental Management. 2012. Vol. 49. No. 3. Pp. 636–648.

13. Володина Л.А., Чернышев С.Н. Методика определения скорости плоскостного смыва для проектирования сооружений на склонах // Вестник МГСУ. 2014. № 8. С. 54–61.

14. Чернышев С.Н., Володина Л.А. Зависимость скорости плоскостной эрозии от наклона поверхности склона // Вестник МГСУ. 2014. № 8. С. 153–164.

15. Goldberg S. Of erosion, soils, and seeds: he right mix of vegetation can make all the difference in stabilization // Erosion Control. 2014. Vol. 21. No. 1. Pp. 16–23.

16. Fan C.-C., Lai Y.-F. Influence of the spatial layout of vegetation on the stability of slopes // Plant and Soil. 2014. Vol. 377. No. 1–2. Pp. 83–95.

17. Verrascina T. Surface protection of slopes by grass covering techniques // Landslide Science and Practice: 2nd World Landslide Forum WLF 2011; Rome; Italy, 2013. Vol. 6: Risk Assessment, Management and Mitigation. Pp. 631–637.

18. Ma K.-C., Lin Y.-J., Maa S.-Y., Tan Y.-C. Evaluation of the effect of hysteretic flow and root system on shallow landslide // Soil Research. 2012. Vol. 50. No. 7. Pp. 616–624.

19. Тазина Н.Г., Дарчия В.И., Чернышев С.Н. Озеленение и закрепление откосов рва и вала Святой Богородичной Канавки в Дивеево // Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси : сб. тр. 5-го Международного научно-практического симпозиума. Сергиев Посад, 2014. С. 207–230.

20. Тазина Н.Г., Дарчия В.И., Чернышев С.Н. Противозрозийное фитоукрепление крутых откосов Святой Богородичной Канавки // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 83–94.

21. Чернышев С.Н., Щербина Е.В. Святая Богородичная Канавка: природные условия и технические решения по воссозданию // Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси : тр. 2-го Междунар. науч.-практ. симпозиума. Сергиев Посад, 2005. С. 247–253.

Поступила в редакцию 10 ноября 2016 г.

Принята в доработанном виде 25 сентября 2017 г.

Одобрена для публикации 25 декабря 2017 г.

ОБ АВТОРАХ: Чернышев Сергей Николаевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 9581148@mail.ru;

Дарчия Валентина Ивановна — младший научный сотрудник Научного исследовательского института строительных материалов и технологий, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, vdar49@mail.ru;

Кофанов Андрей Викторович — кандидат философских наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Kof-AV@yandex.ru;

Тазина Наталья Георгиевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры растениеводства и луговых экосистем, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, nata.tazina@mail.ru;

Тимофеев Даниил Викторович — аспирант кафедры отопления и вентиляции, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, daniil@fastmail.fm.

REFERENCES

1. Chernyshev S.N. Svyataya Bogorodichnaya Kanavka v Diveeve. Istoriya i vossozdanie [Holy Virgin's Ditch in Diveevo. History and Recreation]. *Mir Bozhiy* [World of God]. 2009, no. 13, pp. 108–112. (In Russian)
2. Darchiya V.I., Pashkevich S.A., Pulyaev I.S. et al. Vliyanie usloviy osveshchennosti otkosov na ekspluatatsionnye svoystva geosinteticheskikh setok na osnove poliamida-6 [Influence of ambient light on slopes on the performance properties of geosynthetic grids based on polyamide-6]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 12, pp. 101–108. (In Russian)
3. Shcherbina E.V., Telichenko V.I., Alekseev A.A. et al. Geosinteticheskie materialy: klassifikatsiya, svoystva, oblast' primeneniya [Geosynthetics: classification, properties, field of application]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of the universities]. 2004, no. 5, pp. 97–102. (In Russian)
4. Shcherbina E.V. *Geosinteticheskie materialy v stroitel'stve* [Geosynthetic materials in construction]. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 2004. 112 p. (In Russian)
5. Gartung E., Zanziger H., Koerner M.R. eds. *Clay geosynthetic barriers*. Tokyo, A.A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton, 2002. 399 p.
6. Estermann U., Bläsing P., Öster R. Bewernung von Eisenbahndämmen mit Geokunststoffen auf der ABS Berlin – Hamburg : 4. Informations- und Vortragsveranstaltung über "Kunststoffe in Geotechnik". München, 1995, pp. 160–166.
7. Schade H.W., Fischer S. Gründungen von Straßendämmen auf einem Moor mit Hilfe von Geotextilien: 6. Informations- und Vortragsveranstaltung über "Kunststoffe in Geotechnik". München, 1999, pp. 59–64.
8. Scherbina E. Brückenrampe aus bewehrter Erde in Moskau. 6. Informations- und Vortragsveranstaltung über "Kunststoffe in Geotechnik". München, 1999, pp. 65–70.
9. Zanzinger H., Aleksiew N. Long-term internal shear on clay geosynthetic barriers. *Clay geosynthetic barriers*. Tokyo, A.A. Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton, 2002, pp. 111–117.
10. Volodina L.A., Khaydukov K.P. Vliyanie agrokhimicheskikh pokazateley pochvy na ustoychivoe razvitie travyanogo pokrova na sklonakh muzeya-zapovednika «Kolomenskoe» [Influence of agro-chemical parameters of soil on the stable development of grass cover on the slopes of "Kolomenskoe" museum-nature reserve]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2014, no. 5, pp. 47–52. (In Russian)
11. Uren H.V., Dzidic P.L., Bishop B.J. Exploring social and cultural norms to promote ecologically sensitive residential garden design. *Landscape and Urban Planning*. May 01, 2015, vol. 137, pp. 76–84.
12. Burt J.W. Developing restoration planting mixes for active ski slopes: A multi-site reference community approach. *Environmental Management*. 2012, vol. 49, no. 3, pp. 636–648.
13. Volodina L.A., Chernyshev S.N. Metodika opredeleniya skorosti ploskostnogo smyva dlya proektirovaniya sooruzheniy na sklonakh [Method of determining the speed of sheet washout for design of structures on slopes]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 8, pp. 54–61. (In Russian)
14. Chernyshev S.N., Volodina L.A. Zavisimost' skorosti ploskostnoy erozii ot naklona poverkhnosti sklona [The dependence of sheet erosion velocity on slope angle]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 8, pp. 153–164. (In Russian)
15. Goldberg S. Of erosion, soils, and seeds: the right mix of vegetation can make all the difference in stabilization. *Erosion Control*. 2014, vol. 21, no. 1, pp. 16–23.
16. Fan C.-C., Lai Y.-F. Influence of the spatial layout of vegetation on the stability of slopes. *Plant and Soil*. 2014, vol. 377, no. 1–2, pp. 83–95.
17. Verrascina T. Surface protection of slopes by grass covering techniques. *Landslide Science and Practice: 2nd World Landslide Forum WLF 2011; Rome; Italy, 2013*. Vol. 6: Risk Assessment, Management and Mitigation, pp. 631–637.
18. Ma K.-C., Lin Y.-J., Maa S.-Y., Tan Y.-C. Evaluation of the effect of hysteretic flow and root system on shallow landslide. *Soil Research*. 2012, vol. 50, no. 7, pp. 616–624.
19. Tazina N.G., Darchiya V.I., Chernyshev S.N. Ozelenenie i zakreplenie otkosov rva i vala Svyatoy Bogorodichnoy Kanavki v Diveeve [Greening and strengthening of grass and rampart slopes of Holy Virgin's Ditch in Diveevo]. *Prirodnye usloviya stroitel'stva i sokhraneniya khramov Pravoslavnoy Rusi: sb. tr. 5-go Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo simpoziuma* [Natural conditions for the construction and preservation of Orthodox churches: collected papers of the 5th International Scientific and Practical Symposium]. Sergiev Posad, 2014. Pp. 207–230. (In Russian)
20. Tazina N.G., Darchiya V.I., Chernyshev S.N. Protivoerozionnoe fitozakreplenie krutykh otkosov Svyatoy Bogorodichnoy Kanavki [Erosion protection phytoreinforcement of scarp steep slopes of the Holy Virgin's Ditch]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 9, pp. 83–94. (In Russian)
21. Chernyshev S.N., Shcherbina E.V. Svyataya Bogorodichnaya Kanavka: prirodnye usloviya i tekhn-

nicheskie resheniya po vossozdaniyu [Holy Mother of God Moat: Natural Conditions and Technical Solutions for Reconstruction]. *Prirodnye usloviya stroitel'stva i sokhraneniya khramov Pravoslavnoy Rusi* : tr. 2-go Mezhdunar. nauch.-

prakt. simpoziuma [Natural conditions for the construction and preservation of Orthodox churches in Russia: papers of the 2nd International scientific and practical symposium]. Sergiev Posad, 2005, pp. 247–253. (In Russian)

Received November 10, 2016.

Adopted in final form September 25, 2017.

Approved for publication on December 25, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Chernyshev Sergey Nikolaevich** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Department of Engineering Geology and Geoecology, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 9581148@list.ru;

Darchiya Valentina Ivanovna — Junior research worker, Research Institute of Construction Materials and Technologies, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; vdar49@mail.ru;

Kofanov Andrey Viktorovich — Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Kof-AV@yandex.ru;

Tazina Natalia Georgievna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Crop Research and Grassland Ecosystems, **Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University (HE RT SAU)**, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; nata.tazina@mail.ru;

Timofeev Daniil Viktorovich — Postgraduate student, Department Heat and Ventilation, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; daniil@fastmail.fm.