

## II. УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

DOI: 10.26897/2618-8732-2021-24-11-16

УДК 628. (1-21):628.113

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРАВЛИКИ ДОРОЖНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Черных О.Н., Бурлаченко А.В.

В статье затронуты основные экологические аспекты гидравлики дорожных и природоохран-ных сооружений в типичных ландшафтных условиях. Рассмотрены природоохранные технологии, способствующие стабилизации природной экологической системы. Особое внимание уделено техно-мелиоративным мероприятиям на участках дорог с водопропускными сооружениями для обеспече-ния их безопасной и надёжной работы.

**Ключевые слова:** малые мосты, водопропускные трубы, природоохранные гидротехнические сооружения, заиление, дороги.

### ENVIRONMENTAL ASPECTS OF HYDRAULICS OF ROAD CULVERS

Chernykh O.N., Burlachenko V.A.

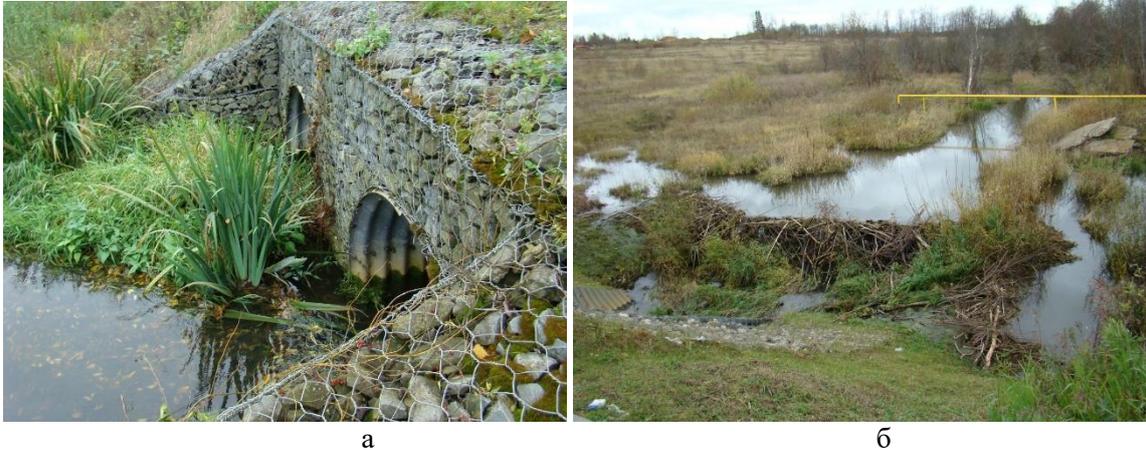
The article touches upon the main environmental aspects of the hydraulics of road and environmental structures in typical landscape conditions. Environmental technologies that contribute to the stabilization of the natural ecological system are considered. Particular attention is paid to technical and reclamation measures on road sections with culverts to ensure their safe and reliable operation.

**Keywords:** small bridges, culverts, environmental hydraulic structures, silting, roads.

Строительство и последующая эксплуатация автомобильных дорог оказывают многофакторное влияние на прилегающую к ним территорию как со стороны верхнего, так и нижнего бьефов дорожных водопропускных и природоохранных гидротехнических сооружений (ГТС), по гребню которых обычно проложены автодороги, либо к косогорным участкам, прилегающим к сопрягающим сооружениям АПК. Такое воздействие может приводить к ряду негативных изменений экологии на трансграничной территории [1]. В то же время большинство этих изменений определяют условия нормальной эксплуатации дорог разного назначения. Следовательно, аспекты строительства и эксплуатации транспортных трасс тесно связаны с нормальным их функционированием. Так, при строительстве дороги в полосе отвода, а часто и вне её, нарушается естественный рельеф местности, меняется состав и состояние верхнего слоя почвы, разрушается растительный покров, существенно меняются условия формирования и характеристики поверхностного стока, водный режим территории. Размыв почвы, подстилающих пород и образование оврагов представляют угрозу в первую очередь устойчивости перепускных ГТС и их элементов. Насыщение водных потоков твёрдыми частицами при размыве и перенос последних создают предпосылки к заилению как водотока, так и соответственно водопропускного ГТС (рис. 1) [2, 3].

Подъём уровня воды перед водопропускным ГТС приводит к затоплению верхнего бьефа – части территории выше мостов и труб, к подпору в постоянных водотоках на значительном удалении от трассы дороги. Аккумуляция стока перед водопропускными дорожными ГТС вызывает снижение скоростей течения в верхнем бьефе. Возникающее при этом заиление распространяется и на сам кульверт и на подмостовое русло. Заиление транзитной части водопропускной трубы уменьшает площадь её поперечного сечения и пропускную способность кульверта. Это приводит к дальнейшему росту уровня и заилению перед ГТС при пропуске даже относительно малых расходов воды, а в пе-

риод паводков – вплоть до катастрофических последствий в виде перелива через насыпь дороги и её последующей деформации. Таким образом, образование пруда аккумуляции стока в верхнем бьефе перед дорожной насыпью или строительство малой плотины либо дамбы на водохозяйственной системе обуславливает не только затопление, но и обводнение – подъём уровня грунтовых вод на прилегающей территории.



**Рисунок 1. Состояние входных оголовков трубчатых перепускных сооружений после релиннга металлическими гофрированными трубами, обследованных в 2018 г. в М.О.:**  
а – чрезмерное зарастание, п. Зеленоградский; б – бобровая плотина перед ГТС, р. Вельга у г. Клин

В результате изменения водного режима может произойти переувлажнение территорий, изменение состава растительности, заболачивание местности, а в ряде регионов – засоление. Строительство дороги вкупе с водопропускным сооружением способно активизировать карстовые явления, оползневые и просадочные процессы, нарушить естественный режим вечной мерзлоты или вызвать усиление наледеобразования у входных либо выходных оголовков и мостов в северных регионах РФ [4, 5]. Как следствие часто наблюдается снижение пропускной способности трубчатых переходов и малых мостов за счёт заиления, образования наледей, заторов и зажоров льда, забивки отверстий при корчеходах [6, 7], приводящее к потенциально опасному техническому состоянию ГТС с аварийным или опасным уровнем безопасности в соответствии с Российским регистром ГТС [8]. Это создаёт аварийные, чрезвычайные ситуации как на ГТС естественного или искусственного водного объекта, так и резко снижает безопасность на автодороге, приводя к катастрофическим условиям эксплуатации различных дорожных сооружений.

Одновременно наносится и экологический урон. Происходит затопление окружающей территории выше трассы дороги. При переливе через насыпь или её прорыве при быстром освобождении отверстий водопропускных сооружений возможны значительные размывы дороги. В нижнем бьефе дорожных водопропускных ГТС наиболее массовым процессом является размыв и оврагообразование. Из обследованных в МАДИ более 1 тысяч дорожных труб, в том числе и из гофрированного металла [6], порядка у 80% отводящих русел за дорожными ГТС имеются размывы. Ущерб от оврагов за каждым из водопропускных ГТС на одной из автомобильных дорог Дальнего Востока составил 0,6 га [11]. Этот процесс может распространиться на значительные расстояния от дороги, вплоть до нескольких километров. Первопричина отмеченного – концентрирование стока, перевод его из склонового в русловой. Для сопрягающих ГТС характерны переливы, особенно на сочленениях водоотводных системах или их резких поворотов, что также приводит к крупномасштабным размывам и появлению оврагов.

Для снижения ущерба от этих негативных воздействий на территории, прилегающей к трансграничному дорожному и водному объекту необходим комплексный подход и взаимодействие в первую очередь сельскохозяйственных, мелиоративных, лесозаготовительных, строительных и прочих организаций. Обязательно устройство укрепления отводящих участков русел водотоков за водопропускным ГТС до подошвы склона, выполнение надёжного водобойного участка, желательно расширение потока в конце крепления на водобое или рисберме с углом раструбности до  $7^{\circ} \dots 10^{\circ}$ , а при установке гасящих устройств и до  $23^{\circ}$ . Установлено, что наилучший эффект для ГТС дорожного водоотвода, как и для крупных ГТС дают рассеивающие трамплины [4, 5, 9 - 13]. При большом удале-

нии трассы от подошвы склона крепление отводящего русла в виде бетонного лотка часто вызывает большие затраты. Тем более, что при прогнозе размыва необходимо учитывать перераспределение стока дорожным сооружением, что не всегда можно сделать корректно. Обследование водоотводных систем на косогорах даёт высокий процент их повреждения и размыва близлежащих участков. Причины этих явлений – конструктивные недоработки, плохая организация входных участков, выплёскивание бурного потока из лотков на виражах и в местах сочленения. Плавные очертания конструкций входных участков и оголовков ГТС перед косогором должны гарантировать перехват стока со всей вышележащей территории.

После предварительной оценки удовлетворения критериев безопасности, обязательных для водопропускных сопрягающих сооружений разного класса и категорий дорог не редко возникает необходимость значительного увеличения высоты бортов лотка сопрягающего сооружения [14]. Причём расчёты должны выполняться с учётом современных методологий расчёта бурных потоков. Чаще всего необходимо повышать борта на вогнутой стороне виражей и несколько ниже поворотного участка, на магистральных лотках против ввода боковых сбросов и ниже сочленения. Именно из-за не учёта особенностей бурных потоков нередко формируются размывы насыпей с последующим заилинием систем водоотвода, а затем и водопропускных ГТС, прибрежной и прилегающей к водному объекту территории. Если бурный поток проскакивает вход в водоотводной лоток, устроенный на откосе высокой насыпи, т.е. водоотвод не выполняет свои функции, то это может привести к многократному повышению расчётных расходов на отдельных участках трассы, например, в понижениях, что резко снижает надёжность и безопасность работы всего водопропускного комплекса в целом.

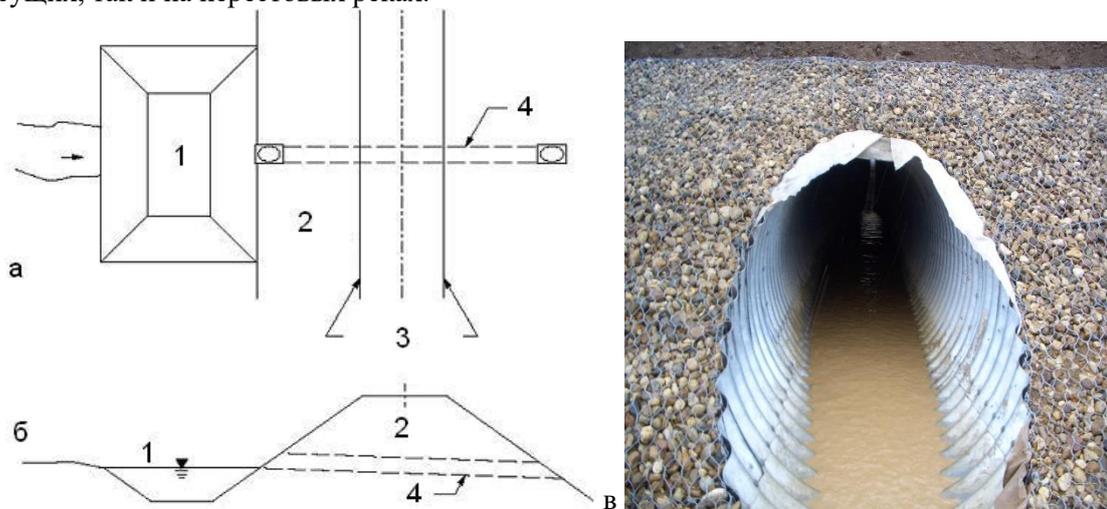
Учитывая вышесказанное, при эксплуатации и ремонте придорожных и природоохранных ГТС необходимо следить, чтобы входные участки имели с верхней стороны плавные очертания, обеспечивали перехват потока, идущего вдоль насыпи, не были замусорены или деформированы так, чтобы создавать преграду, например, следить за отсутствием бобровых плотин, которые иногда возникают на водотоках перед насыпью, даже в черте мегаполиса (например, на р. Химка в Москве). Этому может способствовать и нарушение поперечного профиля дороги на гребне насыпи или плотины, образование колеи, в том числе и на обочинах, отсыпка грунта на них в период ремонта и возникновение при этом на насыпи корытообразного поперечного сечения и пр. [9, 14].

Анализ результатов обследований более 30 автодорожных перепускных трубчатых сооружений на автодорогах Московской области, выполненный совместно МАДИ и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева показал, что практически все трубчатые водопропускные сооружения в разной степени заилены, причём треть из них заилена выше нормы, которая для дорог I – V категории должна составлять соответственно не менее чем 0...0,1 диаметра круглой водопропускной трубы. Основными причинами заилиения эксплуатируемых ГТС были: застой воды у оголовков труб (35%); загрязнение русла водотока бытовым и строительным мусором (68%); зарастание травой высотой более 15 см и древесно-кустарниковой растительностью у оголовков кульверта (62%) [2, 10].

После установления причин появления твёрдого стока, вызывающих заилиение, при разработке мер борьбы с ним помимо известных способов фитомелиоративного обустройства водных объектов в прирусловой и водоохранной зонах, ряда мер лесомелиоративного обустройства водосборов и системы противоэрозионных мероприятий на агроосвоенных водосборах необходимо рассмотреть два основных сценария проведения техномелиоративных работ: перехватить и остановить наносы выше трассы дороги или пропустить их. В рамках разработки программы экологической реабилитации комплекса «водопропускное ГТС – дорога» следует разработать мероприятия, не допускающие создание условий для формирования начального этапа заилиения, отложения грязи и камня в транзитной части ГТС: правильный выбор расчётных скоростей воды, особенно на нерестовом водотоке или в период наиболее интенсивной эрозии грунта, объёма стока наносов, смыва почвы со склонов и пр.

В зависимости от конкретных местных условий необходимо разработать комплекс специальных мер, обеспечивающих как задержание наносов, так и транзит их через водопропускные трубы [2, 11, 15]. Так для транзита наносов надо обеспечить высокие скорости, а для задержания наносов осуществляемые меры наоборот должны быть направлены на уменьшение скорости течения ниже допускаемых на заилиение, что характерно, например, для пруда аккумуляции стока, располагаемого перед водопропускным ГТС (рис. 2). Причём при опасности заилиения, его объём должен быть минимален за счёт принятия повышенных параметров водопропускных труб и подмостовых отверстий. При этом надо учитывать, что круглые трубы особенно с небольшим гидравлически наивыгоднейшим радиусом/диаметром заиляются чаще, чем кульверты более сложных некруговых форм поперечного

сечения (овоидальные, подъёмистые, арочные, полицентрические и пр.) и высотой более 1 м как на взвесенесущих, так и на нерестовых реках.



**Рисунок 2. Пример блокировки очага заиления:**

а – план; б – продольный разрез по трассе трубчатого перехода: 1 – пруд аккумуляции стока; 2 – насыпь; 3 – гребень насыпи с дорожным полотном; 4 – кульверт; в - заиление кульверта через 2 недели после релининга на ПК37+59 объездной дороги в Коломне (лоток с повышенной абразивной устойчивостью на дне гофрированной трубы отсутствует)

В результате натурных обследований выяснено [2, 3, 6, 11], что после реновации железобетонных труб или мостовых переходов гофрированными металлическими трубами при скоростях движения воды в трубах 0,3...0,35 м/с и более может происходить самоочистка. Это обычно обеспечивается при уклонах водопропускного тракта примерно  $i = 0,008...0,01$ . При этом очень важно для таких инновационных конструкций устройство лотка на дне из искусственных материалов (бетон, асфальтобетон, габионные структуры) или природных материалов (каменная наброска), который оберегает антикоррозионное покрытие и поверхность металлических труб от истирания транспортируемыми наносами, и одновременно повышает надёжность и долговечность работы всего ГТС в целом (по зарубежным данным безаварийность работы увеличивается примерно на 25 лет), обеспечивает стабильность гидравлических режимов в кульвертах, понижая вероятность отложения наносов в лотковой части сооружения [4, 11].

Перехвату наносов способствуют защитные полосы с густым травостоем, нарезка поперечных борозд для создания микрозапруд, террасирование и устройство специальных сооружений из природных или природоприближённых материалов на водосборе и береговой линии водного объекта. Транзиту же наносов будет способствовать укладка труб по тальвегу, профилирование и поддержание чистого русла на подходе к входным оголовкам кульвертов и малым мостам с достаточным для транспорта наносов уклоном в пределах водопропускного тракта ГТС и ниже него.

Таким образом, перехват наносов на дальних подступах к водопроводящему или сопрягающему дорожному и природоохранному ГТС вкупе с транзитом их в непосредственной близости от транспортной трассы и под ней позволяют стабилизировать экологическую ситуацию в типичных условиях с учётом комплекса региональных особенностей территории, современных расчётных программ и решить основные проблемы гидравлики для сохранения экологического баланса в природе.

### Литература

1. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Ханов Н.В. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. М.: РГАУ-МСХА, 2020. Часть 2. 185 с.
2. Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Заиление трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла // Природообустройство. 2018. № 1. С. 38-44.
3. Константинов Н.М., Милитеев А.Н., Суцупин В.А. Заиление дорожных труб и малых мостов // Труды МАДИ. Гидравлика дорожных водопропускных сооружений. 1982. С. 72-75.
4. Черных О.Н., Суэтина Т.А., Бурлаченко А.В. Научные основы совершенствования методов гидравлического расчёта дорожных гофрированных труб из металла. М.: МАДИ, 2020. 234 с.
5. Бурлаченко А.В. Повышение надёжности инновационных конструкций водопропускных труб // Природообустройство. 2016. № 4. С. 6-12.

6. Ханов Н.В., Бурлаченко А.В. Гидравлические аспекты обеспечения надёжной и безопасной работы трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла // Природообустройство. 2016. № 5. С. 30-42.
7. Суэтина Т.А., Алтунин В.И., Черных О.Н. Обеспечение экологической безопасности при строительстве водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур // Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 125-128.
8. Черных О.Н. Роль проведения обследований водных объектов при формировании компетентности студентов направления Природообустройство и водопользование профиль Природоохранные гидротехнические сооружения // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2019. № 15. С. 22-30.
9. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И. Оценка безопасности грунтовых подпорных сооружений: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2016. 75 с.
10. Altunin V I and Chernikh O N and Burlachenko A V Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. Volume 50. Issue 4. P 385-390.
11. Алтунин В.И., Черных О.Н., Федотов М.В. Водопропускные трубы в транспортном строительстве. Гидравлическая работа труб из металлических гофрированных структур. М.: МАДИ, 2012. 269 с.
12. Черных О.Н. Оценка условий сопряжения бьефов и мероприятий по обеспечению надёжности работы водосбросов высоконапорного гидротехнического сооружения // Природообустройство. 2020. № 2. С. 56-65.
13. Черных О.Н., Волков В.И. Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений: учебное пособие. М.: Росинформагротех, 2017. 180 с.
14. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Оценка кинематической структуры потока за колодезем заглубленного типа в нижнем бьефе водопропускных сооружений АПК // Природообустройство. 2022. № 1. С. 48-51.

### References

1. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Khanov N.V. Beregoukrepitelnyye konstruktсии vodnykh obyektov. M.: RGAU-MSHA. 2020. V. 2. 185 s.
2. Khanov N.V., Burlachenko A.V. Zaileniye trubchatykh vodopropusknykh sooruzheniy iz gofirovannogo metalla // Prirodoobustroystvo. 2018. №1. S. 38-44.
3. Konstantinov N.M., Militeyev A.N., Sutsepin V.A. Zaileniye dorozhnykh trub i malykh mostov // Trudy MADI. Gidravlika dorozhnykh vodopropusknykh sooruzheniy. 1982. S. 72-75.
4. Chernykh O.N., Suetina T.A., Burlachenko A.V. Nauchnyye osnovy sovershenstvovaniya metodov gidravlicheskogo rascheta dorozhnykh gofirovannykh trub iz metalla. M.: MADI. 2020. 234 s.
5. Burlachenko A.V. Povysheniye nadezhnosti innovatsionnykh konstruktсий vodopropusknykh trub // Prirodoobustroystvo. 2016. № 4. S. 6-12.
6. Khanov N.V., Burlachenko A.V. Gidravlicheskiye aspekty obespecheniya nadezhnoy i bezopasnoy raboty trubchatykh vodopropusknykh sooruzheniy iz gofirovannogo metalla // Prirodoobustroystvo. 2016. № 5. S. 30-42.
7. Suetina T.A., Altunin V.I., Chernykh O.N. Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti pri stroitelstve vodopropusknykh sooruzheniy iz metallicheskih gofirovannykh struktur // Arkhitektura i stroitelstvo. 2015. № 2. S. 125-128.
8. Chernykh O.N. Rol provedeniya obsledovaniy vodnykh obyektov pri formirovani kompetentnosti studentov napravleniya Prirodoobustroystvo i vodopolzovaniye profil Prirodookhrannyye gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya // Vestnik uchebno-metodicheskogo obyedineniya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustroystva i vodo-polzovaniya. 2019. № 15. S. 22-30.
9. Volkov V.I., Chernykh O.N., Altunin V.I. Otsenka bezopasnosti gruntovykh podpornykh sooruzheniy: uchebnoye posobiye. M.: RGAU-MSHA. 2016. 75 s.
10. Altunin V. I., Chernikh O. N., Burlachenko A. V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. Volume 50. Issue 4. P. 385-390.
11. Altunin V I., Chernykh O.N., Fedotov M.V. Vodopropusknyye trubyy v transportnom stroitelstve. Gidravlicheskaya rabota trub iz metallicheskih gofirovannykh struktur. M.: MADI. 2012. 269 s.
12. Chernykh O.N. Otsenka usloviy sopryazheniya byefov i meropriyatiy po obespecheniyu nadezhnosti raboty vodosbrossov vysokonapornogo gidrouzla // Prirodoobustroystvo. 2020. №2. S. 56-65.
13. Chernykh O.N., Volkov V.I. Provedeniye obsledovaniy pri otsenke bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: uchebnoye posobiye. M.: Rosinformagrotekh. 2017. 180 s.
14. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Otsenka kinemacheskoy struktury potoka za kolodtsem zaglublennogo tipa v nizhnem byefe vodopropusknykh sooruzheniy APK // Prirodoobustroystvo. 2022. № 1. S. 48-51.

### Данные об авторах:

**Черных Ольга Николаевна**, доцент кафедры «Гидротехнические сооружения», кандидат технических наук.

*e-mail: [gtsmgup@mail.ru](mailto:gtsmgup@mail.ru)*

*Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова  
Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева  
ул. Тимирязевская, 49, 127550, Москва, Россия*

**Бурлаченко Алёна Владимировна**, доцент кафедры «Гидравлика», кандидат технических наук.

*e-mail: [chtara@mail.ru](mailto:chtara@mail.ru)*

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)  
Ленинградский проспект, 64, 125319, Москва, Россия*

**Data about the author:**

**Chernikh Olga Nikolaevna**, Associate Professor, Department of Hydraulic Structures, Candidate of Technical Sciences.

*Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev  
Timiryazevskaya str., 49, 127550, Moscow, Russia.*

**Burlachenko Alena Vladimirovna**, Associate Professor of the Department of Hydraulics, Candidate of Technical Sciences.

*e-mail: [chtara@mail.ru](mailto:chtara@mail.ru)*

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)  
Leningradsky Prospekt, 64, 125319, Moscow, Russia*

**Рецензент:**

**Савельев А. В.**, доцент кафедры «Сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости», кандидат технических наук. РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева