

УДК 502/504:621.644:532.54

Н.В. ХАНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

А.В. БУРЛАЧЕНКО

АО «Мерседес-Бенц РУС», г. Москва

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ТРУБЧАТЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ГОФРИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

Приведены результаты анализа основных факторов, влияющих на долговечность, надёжность и безопасность работы водопропускных сооружений различного назначения из металлических гофрированных труб. Рассмотрены способы повышения абразивной устойчивости оцинкованных гофротруб. Приводятся и обсуждаются результаты экспериментальных исследований гидравлических сопротивлений в металлических трубах с нормальной (МГТ) и спиральной (СВМГТ) формами гофра при наличии и отсутствии гладкого лотка по их дну. Выявлены основные факторы, влияющие на коэффициент шероховатости в таких трубах при напорном и безнапорном режимах протекания водного потока. Установлено, что для СВМГТ с гладким лотком по дну величина коэффициента шероховатости заметно меньше коэффициента шероховатости той же СВМГТ без гладкого лотка. Обоснована необходимость проведения дальнейших экспериментальных исследований и натурных обследований оцинкованных труб из металлических гофрированных структур, имеющих специальное защитное покрытие в виде лотка по дну, обеспечивающего надёжную работу водопропускных сооружений на временных и постоянных водотоках с разным уровнем абразивного воздействия потока.

Водопропускные сооружения, металлические гофрированные трубы с нормальным и спиральным гофром, долговечность, надёжность работы, безнапорный и напорный гидравлические режимы, гладкий лоток, коэффициент шероховатости, экспериментальные исследования.

Введение. Малые водопропускные сооружения, под которыми подразумеваются водопропускные трубы, являются основными не только на мелиоративной сети, но и на автомобильных магистралях, где их насчитывается не менее 1...2 на 1 км дороги [1]. Более чем в 20 странах мира для возведения и реконструкции водопропускных переходов, водосбросов при низконапорных гидроузлах, малых мостов, экопереходов, транспортных переходов через нерестовые водотоки и ирригационные каналы, лавинозащитных галерей и др. используются искусственные сооружения из металлических гофрированных структур [2], которые выполняются из труб с нормальным (МГТ) и спиральновитым (СВМГТ) гофром. Как и для всех гидротехнических сооружений (ГТС), определяющим показателем оценки их гидравлической работы, характеризующим пропускную способность, является не только размер отверстия, но и форма их гофра [1-3].

Безопасная работа водопропускного сооружения, а следовательно, и бесперебойное функционирование транспортной маги-

страли, проходящей над ГТС, может быть обеспечена только при гарантированном пропуске расчётного расхода поверхностных вод под насыпью. Поэтому размер металлической гофрированной водопропускной трубы и её конструктивных элементов должен назначаться на основании гидравлического расчёта, который является неотъемлемой составной частью любого проекта ГТС, в том числе и трубчатых переходов на дорогах [3]. Однако в существующих типовых проектах этот раздел для СВМГТ отсутствует. Это нарушает основные требования по обеспечению безопасности применения на автомобильных дорогах водопропускного сооружения с МГТ (п. 4.2) [3], не соответствует требованиям СП 35.13330.2011, СП 34.13330.2012 и других нормативных документов для ГТС. Таким образом, функциональная, конструктивная и информационная надёжность водопропускных сооружений при строительстве СВМГТ по таким проектам не будет обеспечена.

Гидравлическая работа гофрированных труб вследствие повышенной шероховатости стенок имеет свои особенности. Однако недо-

статочная изученность условий их работы, отсутствие нормативной базы и корректных методик гидравлического расчёта МГТ и СВМГТ усложняют правильный выбор инновационных технических решений при проектировании, сравнении вариантов и строительстве этих легких, быстро возводимых и мобильных ГТС из сборных металлических гофрированных элементов [4-6]; затрудняют проведение комплексной оценки гидрологической и гидродинамической безопасности ГТС из гофрированных структур (рис. 1) [4, 5].

Вторым аспектом проблемы внедрения инновационных решений водопропускных труб в практике проектирования и строительства ГТС является оценка их долговечности и надёжности гидравлической работы. С учетом того, что период применения СВМГТ в РФ является недолгим, отечественные методики расчета долговечности отсутствуют. Анализ зарубежных методик показывает обилие методов расчета долговечности таких водопропускных сооружений, используемых, например, в США (они разные в штатах Флорида, Огайо, Нью-Йорк и др.) [5]. Объясняется это тем, что на долговечность МГТ существенное влияние оказывают очень многие факторы

(кислотность, удельное электрическое сопротивление грунта, климатические условия региона и проч.). Согласно классификации Национальной ассоциации по металлическим гофрированным трубам США (NCSIPA) при оценке различных видов дополнительных защитных покрытий, обеспечивающих увеличение долговечности гофрированных металлических водопропускных труб, выделяют 4 уровня абразивного воздействия потока.

В соответствии с рекомендациями [5] предлагается применять в качестве защитного полимерное покрытие только при 1-3 уровнях абразивного воздействия (табл.).

При 4-м уровне абразивного воздействия водного потока можно применять полимерное покрытие, но только совместно с асфальтобетонным или бетонным лотками, укладываемыми по дну трубы (увеличение долговечности при этом составляет 30 лет). Наибольшее увеличение долговечности гофрированной трубы (на 50 лет) при пропуске водного потока с 4-м уровнем абразивного воздействия обеспечивает бетонное покрытие толщиной 75 мм (3 дюйма), занимающее не менее 25% внутреннего периметра гофрированной трубы.



Рис. 1. Пример развития аварии водопропускного сооружения из МГТ (а-г) [2]

**Прогнозируемый срок службы МГТ
в зависимости от типа защитного покрытия, лет [5]**

Тип покрытия со стороны водотока	Уровень абразивного воздействия			
	1	2	3	4
Асфальтовое	10	10	н/р	н/р
Асфальтобетонное	30	30	30	30
Асфальтовое покрытие, армированное волокном	40	40	н/р	н/р
Полимеризированный асфальт/битум	45	45	35	н/р
Предварительно нанесённый полимер	80	80	70	н/р
Предварительно нанесённый полимер с бетонированием	80	80	80	30
Предварительно нанесённый полимер на внутреннюю поверхность трубы из полимеризированного асфальта	80	80	80	30
Бетонирование асфальтобетона с добавлением армированного волокна	50	50	40	н/р
Высокопрочный бетон	75	75	50	н/р
Гладкий бетонный лоток по дну трубы	80	80	80	50

Примечание. н/р не рекомендуется.

Анализ данных, приведённых в таблице, и опыта эксплуатации ряда водопропускных труб из гофрированного металла, как построенных, так и восстановленных при релининге в РФ [2, 5], показывает, что долговечность при отсутствии бетонного лотка по дну гофротрубы или при уменьшении его толщины значительно снижается. Следует отметить, что в ряде штатов США ни при каких условиях не допускается применение металлических гофрированных труб без дополнительного защитного покрытия, устраиваемого по дну (штат Огайо и др.). Поэтому считаем, что применять любые гофрированные трубы в нашей стране в условиях агрессивной внешней среды и повышенного абразивного воздействия водного потока (часто это 4-й уровень) без защитного бетонного лотка по дну недопустимо. Более того, согласно действующему ОДМ 218.2.001-2009 [3] все применяемые в РФ МГТ должны обязательно иметь защитный бетонный лоток, занимающий более $\frac{1}{4}$ внутреннего периметра гофрированной трубы. Учитывая сказанное выше, для повышения долговечности СВМГТ такой лоток необходимо устанавливать и на дне СВМГТ [9].

Материалы и методы исследования. Любая водопропускная труба незави-

симо от типа входного оголовка, как гладкая, так и гофрированная, может работать как минимум в трех основных гидравлических режимах: безнапорном, полунпорном и напорном; а иногда – и в частично-напорном [1, 2, 9]. Это отражено и в действующих ОДМ [3], где на автомобильных дорогах постоянного применения разрешено проектировать гофрированные трубы на пропуск расчетного расхода не только в безнапорном гидравлическом, но и в полунпорном и напорном режимах. Частично-напорный режим не упоминается, поскольку условия работы МГТ в этом режиме в России практически не изучены. СВМГТ тоже могут работать в отмеченных 4-х гидравлических режимах. Например, это может происходить после проведения капитального ремонта старого водопропускного сооружения методом релининга, широко используемого как в нашей стране, так и за рубежом, при котором в старую водопропускную трубу вставляется новая гофротруба меньшего размера. При этом пропускная способность восстановленного сооружения из-за уменьшения площади водопропускного отверстия значительно снижается. Поэтому новая водопропускная труба (МГТ либо СВМГТ) может работать скорее всего с затопленным входным оголовком, т.е. в полун-

порном, напорном или частично-напорном режимах. В этой связи обязательно должен выполняться её расчет на работу во всех гидравлических режимах. Следует отметить, что в соответствии с [3] оба вида труб в РФ обычно проектируются на работу в безнапорном режиме.

В мировой практике наметилась тенденция использования водопропускных гофрированных труб без оголовка. Правда, для увеличения пропускной способности ряд исследователей рекомендует устраивать на входе порталную стенку или оголовок, подобный раструбному, но выполненный из гофрированного металла [1, 9]. Проведенные ранее в МАДИ исследования [5-9] показали, что увеличение коэффициента расхода при этом составляет всего около 4,4...6%. Поэтому считаем, что при проектировании гофрированной трубы на работу в безнапорном режиме целесообразнее устраивать её без оголовка, что понизит строительную

стоимость всего ГТС в целом, сохраняя надёжность его работы.

В этой связи большая часть исследований МГТ и СВМГТ по оценке безопасной работы и повышению эффективности гидравлической работы гофрированных труб при основных режимах работы проводилась для гофротруб с входом без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы (рис. 2), а на выходе – с порталной стенкой. Модель СВМГТ имела внутренний диаметр 240 мм и гофр размером 25 x 5 мм (угол спиральности $\varphi = 9^{\circ}21'$), который в масштабе 1:5 моделировал натурную трубу $d = 1200$ мм с базовым гофром 125 x 25 мм и уклонами $i = 0,03$ и $i = 0,05$. По дну гофрированной трубы на последнем этапе исследований был уложен гладкий лоток толщиной $\delta = 12$ мм, занимавший сегмент с углом $\alpha = 120^{\circ}$ [2, 7, 9]. При расчёте коэффициента шероховатости величина коэффициента Шези рассчитывалась по зависимости Маннинга.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки одноочковой СВМГТ с гладким лотком по дну

Результаты исследований. Исследования показали, что при отсутствии лотка по дну МГТ и СВМГТ работают по типу «коротких» труб, и на их пропускную способность в *безнапорном* режиме изменение сопротивления по длине трубы не влияет [2]. В отечественной гидравлике в этих случаях расчёт ведётся по формуле водослива с широким порогом [3, 8]. Следует отметить, что при гидравлическом расчете водопропускной трубы, работающей по типу «короткой»

в безнапорном и полупапорном режимах, величина коэффициента шероховатости n не является определяющей, поскольку не входит в основные расчетные зависимости, но при расчёте напорного движения водного потока знание величины n весьма важно. Однако при наличии гладкого лотка по дну использовать для выполнения гидравлических расчётов СВМГТ существующие рекомендации для МГТ нельзя, так как наличие спиральности оказывает влияние

на гидравлические сопротивления, испытываемые потоком при движении по такой комбинированной гладко-гофрированной конструкции ГТС [6]. При этом для обоих типов гофра сопротивления, испытываемые

водным потоком при движении по МГТ и СВМГТ, имеющих гладкий лоток по дну, меняются одновременно с изменением наполнения h_0/d , где h_0 – нормальная глубина потока в трубе (рис. 3).

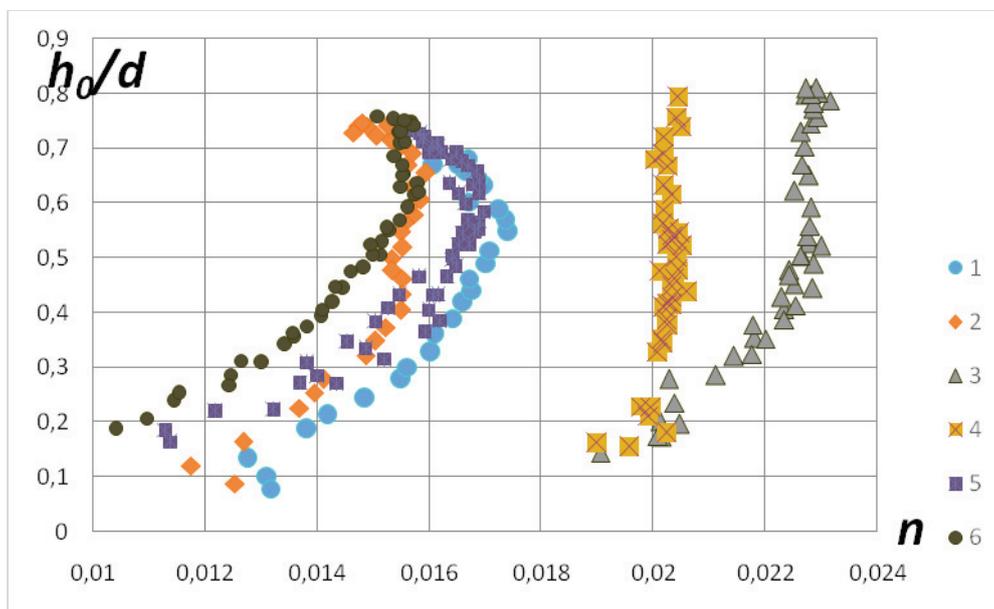


Рис. 3. График зависимости $n = f(h_0/d)$ для исследованных моделей гофрированных водопропускных труб без входного оголовка при безнапорном движении водного потока соответственно с $i = 0,05$ и $i = 0,03$: 1, 2 – опытные точки для СВМГТ с лотком по дну; 3, 4 – для СВМГТ без лотка; 5, 6 – для МГТ с лотком по дну

При *напорном* движении водного потока в МГТ и СВМГТ с гладким лотком по дну коэффициент гидравлического сопротивления является функцией числа Рейнольдса Re . Соответственно при $Re \geq 350\,000$ для МГТ [2] и $Re \geq 400\,000$ для СВМГТ [9] наступает квадратичная область, и значение коэффициента гидравлического сопротивления по длине λ перестает меняться. Установлено, что коэффициент шероховатости n при напорном движении потока, зависящий от наличия и размеров гладкого лотка, коэффициента шероховатости лотка и гофрированной поверхности трубы, может быть достаточно корректно рассчитан по зависимости Нортона [9] только для СВМГТ, а для МГТ по данной зависимости значение n значительно меньше, чем получается в экспериментах [1]. При этом в обоих случаях влияние изменения шероховатости гладкого лотка в целом незначительно сказывается на натурной расчётной величине n_n . Для натурной СВМГТ $d_n = 1,2$ м со спиральным гофром размером 125 x 25 мм с гладким лотком по дну величина

коэффициента шероховатости $n_n = 0,0234$ оказалась заметно меньше коэффициента шероховатости $n_n = 0,0275$ той же СВМГТ без гладкого лотка, полученной по результатам выполненных ранее исследований [10].

Следует заметить, что приводимые в зарубежной литературе, в частности, в справочнике AISI, для гофра 125 x 25 мм коэффициенты шероховатости существенно занижены (в отдельных случаях, как отмечалось и зарубежными исследователями, более чем на 40%) [2, 10]. Их значения получены не на основании экспериментальных гидравлических исследований, а путем логического анализа изменения коэффициентов шероховатости для гофров другого размера и вида.

Сопоставительный анализ работы МГТ и СВМГТ при *безнапорном* движении водного потока показывает, что с установкой гладкого лотка по дну (рис. 3) гидравлические сопротивления, как и при напорном движении водного потока, существенно снижаются. При установке гладкого лотка, занимающего 1/3 внутреннего

периметра трубы, в СВМГТ с натурными параметрами $d_n = 1,2$ м, гофр 125 x 25 мм величина коэффициента шероховатости при безнапорном движении при пересчёте экспериментальных данных в натуру составляет $n_n = 0,0207$ ($i = 0,03$) и $n_n = 0,0226$ ($i = 0,05$). С ростом наполнения трубы h_0/d и при увеличении её уклона наблюдается возрастание значений n как при движении воды в пределах гладкого лотка, так и при переходе его на гофрированную часть трубы. Максимальные значения коэффициента n для обеих моделей гофротруб наблюдаются при наполнениях, равных примерно $h_0/d = 0,57...0,65$. Затем их величина несколько понижается, что согласуется с данными ряда зарубежных исследователей [9, 11]. В общем величина n в трубах с гладким лотком по дну и спиральной формой гофра получилась в экспериментах при соответствующем наполнении в 1,2...1,03 раза меньше по сравнению с МГТ с донным лотком. В целом величина коэффициента n при безнапорном движении в зависимости от уклона гофрированной трубы с гладким лотком по дну получается меньше соответствующих значений n при напорном режиме, и примерно в 1,25...1,4 раза величина n меньше значений n для гофротруб при отсутствии гладкого лотка на дне [10]. Однако при отсутствии гладкого лотка в трубах более ярко при безнапорном и напорном движении водного потока выражена зависимость между коэффициентом шероховатости n гофрированной трубы от величины её уклона [2].

Выводы

1. Для повышения долговечности и обеспечения надёжной и безопасной работы водопропускных сооружений с трубами из гофрированного металла, особенно в условиях повышенного уровня абразивного воздействия водного потока, необходимо устраивать бетонный лоток по их дну в трубах как с нормальным (МГТ), так и спиральным гофра (СВМГТ).

2. В настоящее время разработать СП для ГТС, использующих металлические гофрированные структуры на водопропускном тракте, не представляется возможным ввиду отсутствия гидравлических экспериментальных исследований всего многообразия гофрированных труб, применяемых сегодня в России.

3. Методика гидравлического расчёта СВМГТ при разных режимах работы должна обязательно учитывать наличие бетонного защитного лотка, устраиваемого по дну гофрированной водопропускной трубы. В результате экспериментов получены необходимые для расчётов данные о гидравлических сопротивлениях в СВМГТ с гладким лотком по дну. При установке на дне СВМГТ для повышения абразивной устойчивости защитного лотка, занимающего не менее $\frac{1}{4}$ её внутреннего периметра, коэффициент шероховатости будет иметь меньшее значение, чем при отсутствии лотка. При безнапорном движении водного потока величина коэффициента шероховатости будет переменной в зависимости от наполнения трубы. При напорном движении значение n можно достаточно точно определять для СВМГТ по формуле Нортон.

4. Для оптимизации выбора инновационного конструктивного решения водопропускного ГТС применительно к условиям конкретного водного объекта следует уточнить и конкретизировать как нормативно-техническую базу, так и регламентирующие требования к применению таких новых разработок. Необходимо ввести корректировку в существующие рекомендации с учётом современных экспериментальных данных и мониторинговых исследований, а также включить их в разрабатываемые в настоящее время по заданию Росавтодора ОДМ по спиральновитым металлическим гофрированным трубам.

Библиографический список

1. 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.
2. Алтунин В.И., Черных О.Н., Федотов М.В. Водопропускные сооружения транспортных магистралей из металлических гофрированных структур. – М.: МАДИ, 2016. – 304 с.
3. ОДМ 218.2.001-2009 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (Дорожно-климатических зон)». – М.: ФДА (РОСАВТОДОР), 2009. – 200 с.

4. Алтунин В.И., Черных О.Н. Гидравлические условия работы нижних бьефов гофрированных водопропускных труб // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 40-43.

5. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Ушаков В.В. Долговечность дорожных водопропускных труб из гофрированного металла // Дороги и мосты. – 2016. – Вып. 35. – С. 173-186.

6. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Повышение эффективности гидравлической работы дорожных водопропускных труб // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 42-46.

7. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Экспериментальные исследования металлической гофрированной водопропускной трубы при частично-напорном режиме // Приволжский журнал. – 2015. – № 1. – С. 28-36.

8. Алтунин В.И., Черных О.Н., Бурлаченко А.В. К вопросу выбора расчётного гидравлического режима при проектировании металлических гофрированных водопропускных труб // Природообустройство. – 2014. – № 2. – С. 51-57.

9. Алтунин В.И., Бурлаченко А.В., Черных О.Н. Гидравлические сопротивления водопропускных труб из гофрирован-

ного металла с повышенной абразивной устойчивостью // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 6. – С. 23-29.

10. Алтунин В.И., Черных О.Н. Гидравлические сопротивления металлической гофрированной водопропускной трубы со спиральной формой гофра // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 1. – С. 31-36.

11. Steven F. Mangin. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in the Civil and Environmental Engineering Program YOUNGSTOWN STATE UNIVERSITY August, 2010. P. 159.

Материал поступил в редакцию 12.10.2016 г.

Сведения об авторах

Ханов Нартмир Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; тел.: 8(499)976-00-15; e-mail: vkhanov@yahoo.com

Бурлаченко Алена Владимировна, специалист АО «Мерседес-Бенц РУС»; 125167, Москва, Ленинградский пр-т, 39А; тел.: 8 (499) 6180514; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com

N.V. KHANOV

Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Russian state agrarian University – MAA named after K.A. Timiryazev», Moscow

A.V. BURLACHENKO

АО «Mercedes-Benz RUS», Moscow

HYDRAULIC ASPECTS OF ENSURING RELIABLE AND SAFE OPERATION OF TUBULAR CORRUGATED CULVERTS

There are given the analysis results of the main factors influencing the durability, reliability and safety of culverts of different purposes made of metal corrugated pipes. There are considered the ways of improving the abrasive resistance of galvanized corrugated pipes. There are given and discussed the results of experimental investigations of hydraulic resistance in metal pipes with a normal (MGT) and spiral (SMGT) shaped corrugation with the availability and absence of a smooth tray on their bottom. The main factors affecting the coefficient of roughness are revealed in such pipes under pressure and non-pressure conditions of the water flow. It was found that for SMGT with a smooth tray on the bottom the value of the roughness coefficient is noticeably less than the roughness coefficient of the same SPMGT without a smooth tray. There is substantiated the necessity of further experimental investigations and field inspections of galvanized pipes of corrugated metal structures with a special protective coating in the form of a tray on the bottom to ensure a reliable operation of culverts on temporary and permanent watercourses with a different level of the abrasive flow influence.

Culverts, corrugated metal pipes with a normal and spiral corrugation, durability, reliability of operation, pressure and non-pressure hydraulic regimes, smooth tray, coefficient of roughness, experimental investigations.

References

1. **Altunin V.I., Chernykh V.I., Fedotov M.V.** Vodopropusknye truby v transportnom stroitel'stve, Gydravlicheskaya rabota trub iz metallicheskih gofirovannykh structur. – M.: MADI, 2012. – 269 s.
2. **Altunin V.I., Chernykh O.N., Fedotov M.V.** Vodopropusknye sooruzheniya transportnykh magistralей iz metallicheskih gofirovannykh structur. – M.: MADI, 2012. – 304 s.
3. ODM 218.2.001-2009 «Recomendatsii po projectirovaniyu I stroitel'stvu vodopropusknykh sooruzheniy iz metallicheskih gofirovannykh structur na avtomobilnykh dorogah obshchego pol'zovaniya s uchetom regionalnykh usloviy Dorozhno-climaticeskikh zon». – M.: FDA (ROSAVTODOR), 2009. – 200 s.
4. **Altunin V.I., Chernykh O.N.** Gydravlicheskie usloviya raboty nizhnih bjefov gofirovannykh vodopropusknykh trub // Prirodoobustroystvo. – 2013. – № 5. – S. 40-43.
5. **Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Ushakov V.V.** Dolgovechnost' dorozhnykh vodopropusknykh trub iz gofirovannogo metalla // Dorogi I mosty. – 2016. – Vyp. 35. – S. 173-186.
6. **Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Povyshenie effektivnosti gydravlicheskoj raboty dorozhnykh vodopropusknykh trub // Prirodoobustroystvo. – 2016. – № 2. – S. 42-46.
7. **Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Experimental'nyye issledovaniya metallicheskoj gofirovannoj vodopropusknoy trubы pri chastichno-napornom rezhime // Privolzhskij zhurnal. – 2015. – № 1. – SC. 28-36.
8. **Altunin V.I., Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** K voprosu vybora raschetnogo gydravlicheskogo rezhima pri proectirovaniі metallicheskih gofirovannykh vodopropusknykh trub // Prirodoobustroystvo. – 2014. – № 2. – S. 51-57.
9. **Altunin V.I., Burlachenko A.V., Chernykh O.N.** Gidravlicheskie soprotivleniya vodopropusknykh trub iz gofirovannogo metalla s povyshennoj abrazivnoj ustojchivost'ju // Gydrotechnicheskoye stroitel'stvo. – 2016. – № 6. – S. 23-29.
10. **Altunin V.I., Chernykh O.N.** Gidravlicheskie soprotivleniya metallicheskoj gofirovannoj vodopropusknoy trubы so spiral'noy formoj gofra // Gydrotechnicheskoye stroitel'stvo. – 2016. – № 1. – S. 31-36.
11. **Steven F.** Mangin. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in the Civil and Environmental Engineering Program YOUNGSTOWN STATE UNIVERSITY August, 2010. P. 159.

The material was received at the editorial office
on 12.10.2016

Information about the authors

N.V. KHANOV Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow. 127550, ul. B. Academicheskaya, 44; tel.: 8 (499)976-00-15; e-mail: vkhanov@yahoo.com.

Burlachenko Alena Vladimirovna, specialist AO «Mercedes-Benz RUS», 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 39A, tel.: 8(499) 618054; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com.