Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering https://t-s.today
2021, №4, Том 8 / 2021, N 4, Vol. 8 https://t-s.today/issue-4-2021.html
URL: https://t-s.today/PDF/01SATS421.pdf
DOI: 10.15862/01SATS421 (https://doi.org/10.15862/01SATS421)

Способ борьбы с наледями на малых водопропускных сооружениях железных дорог

Щевьёв Ю.Л., Телятникова Н.А., Кручинин И.Д.

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Телятникова Наталья Александровна, e-mail: sharklike@mail.ru

Аннотация. В данной статье, рассматривается одна из важнейших проблем связанных с эксплуатацией малых водопропускных сооружений на железных дорогах — образование наледей на входных отверстиях этих сооружений. Эта проблема встречается повсеместно, но основной зоной опасности являются северные регионы. Целью работы является определение причин возникновения данного явления и определение факторов, непосредственно влияющих на них, а также поиск способа решения сложившейся проблемы. В работе разобран детальный алгоритм использования методики на основе расчета малого водопропускного сооружения круглого сечения.

Ключевые слова: наледь; малое водопропускное сооружение; водопропускная труба; железнодорожная транспортная система; затопление водопропускных труб; разрушение первоначальной структуры трубы; аккумуляция; нормативы проектирования

Anti ice build-up method on small railway culverts

Yuri L. Shcheviev, Natalia A. Telyatnikova, Ilya D. Kruchinin

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Corresponding author: Natalia A. Telyatnikova, e-mail: sharklike@mail.ru

Abstract. One of the most important problems with the small railway culverts operation is the ice build-up on the inlets of these structures. This problem is universal in occurrence, but the northern regions are the main danger zone. The objective of this paper is to determine the phenomenon causes and factors that directly affect it, as well as to find a way to solve the problem.

A small culvert is considered as a subsystem of the "Road/Railroad" system, which allows us to execute complete analysis and description of the technical and special production processes accounting related to design, construction, maintenance, scheduled, overhaul, as well as reconstruction, and solution of some problems, during the culverts operation. Consistently considered reliability issues during structural engineering: functional, structural, and informational. described Regulations that allow determining the nature of the ice build-up problem on pipes.

In the analysis process of the existing methods for solving the problem, it was found that each method has its particularities, but in the end, is ineffective. According to the methodology presented by the authors, under Professor's Yu.L. Scheviev supervision, has been developed a completely new approach, that provides effective financial resources use, in relation to the work result during the entire object's life cycle, in form of a long structure operation period with the elimination of the ice build-up problem possibility. Technique application leads to a sharp decrease in the technical work frequency at small culverts. The paper analyzes a detailed algorithm for using the technique based on the calculation of a small culvert with a circular cross-section.

Keywords: ice build-up; small culvert; culvert; railway transport system; flooding culverts; original pipe structure destruction; accumulation; design standards

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License

Введение

Introduction

Образование наледи на малых водопропускных сооружениях железных дорог является одной из самых распространённых проблем, как в мире, так и на всей железнодорожной транспортной системе Российской Федерации. При мониторинге состояния железной дороги в России в течение длительного времени, неоднократно наблюдались затопления и оседания почвы по краям и в некоторых центральных зонах насыпи. Данная ситуация заставляет задуматься о причинах возникновения подобных явлений, потому как это часто приводит к негативному результату, а именно, разрушению целостности первоначальной структуры насыпей, возникновению неровностей железнодорожного полотна и, в худшем случае, сходу состава с рельсов.

1. Исследования в области проблем малых водопропускных сооружений

1. Research for small culverts problems

Проблемами малых водопропускных сооружений занималось довольно большое количество учёных. К ним относятся: В.А. Копыленко, Т.В. Гавриленко, М.М. Корунов, А.В. Замуховский, О.Н. Черных, А.И. Алтунин, Шалаби и многие другие [1–5].

Последовательное исследование проблем, связанных с нарушением работы пропускных сооружений позволило ученым определить факторы, влияющие на возникновение аварий. Так, в работах Копыленко В.А., одним из важнейших вопросов ставилось вычисление расхода воды в трубе в зависимости от её режима, напора со стороны канавы, вида трубы и её геометрических параметров(размеров); в проведенных до этого исследованиях были проанализированы нагрузки, которые возникают в процессе эксплуатации сооружения. На водопропускные трубы оказывают воздействие статические и динамические нагрузки (от веса насыпи и проезжающего транспорта), а также перепады температур и непосредственно протекающие по трубе талая и дождевая вода, ручьи и мелкие реки. Всё это, а также геологический фактор (землетрясения, подвижки и вибрация грунта) или изначально неправильная установка трубы, может привести к её деформации или разрушению [1; 2]. В исследованиях также рассматривались режимы работы и гидравлические параметры водопропускных труб, расчёт их пропускной способности, а также возможность оценки режима протекания и основных гидравлических характеристик труб в современных программных

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

продуктах [3] и надёжность насыпи и поведение трубного сооружения под влиянием потоков [4].

Работе водопропускных труб в северных регионах и проблемами обледенения и пучения при эксплуатации водопропускных сооружений посвящен ряд работ, где последовательно рассмотрены вопросы надежности при проектировании сооружений: функциональной, конструкционной и информационной. Описаны регламенты, по которым возможно определить характер рассматриваемой проблемы возникновения оледенений на трубах [6–9].

Иностранные авторы также делали исследования в области малых водопропускных сооружений. В своих исследованиях они отмечают, что высокая нагрузка на сооружения может привести к нескольким дефектам в конструкции водопропускных труб. Необходимо точно рассчитать давление грунта в верхней части водопропускной трубы и коэффициент давления грунта в насыпях. В исследованиях была предложена численная модель для точного расчета давления грунта в верхней части заглубленных водопропускных труб и коэффициента давления грунта в насыпи [8–11].

В процессе анализа существующих методов решения рассматриваемой авторами проблемы, было установлено, что каждый из них обладает своими особенностями, но в совокупности походов и рассматриваемых факторов являются, всё же, неэффективными. По методике, представленной авторским коллективом, под руководством профессора Щевьёва Ю.Л., разработан совершенно новый подход, который, предусматривает эффективный расход финансовых средств по соотношению к результату работ в периоде всего жизненного цикла объекта, в виде длительного периода свободной эксплуатации сооружения с устранением возможности возникновения проблемы оледенения. Применение методики влечёт к резкому понижению частоты технических работ на малых водопропускных сооружениях.

2. Причины образования наледи на малых водопропускных сооружениях железных дорог и факторы, приводящие к возникновению этой проблемы

2. The causes of ice build-up on small railways culverts and factors that lead to this problem

Авторы работы сочли интересным и необходимым разобраться в проблематике возникновения этого явления: что же приводит к возникновению наледи на сооружениях, предназначенных для пропуска

талых и осадочных вод? Суть проблемы заключается в нарушении функционирования малых водопропускных сооружений на железных дорогах. Причинами, приводящими к подобного рода трудностям, можно считать использование неподходящих или низкокачественных материалов, климатические явления, нарушение технологии производства работ или эксплуатации, возникновение рядя других условий, влияющих на состояние самой трубы.

Такого рода проблемы могут встречаться повсеместно, дополнительно к приведенным причинам, следует отметить человеческий фактор и допущение ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации. Вторым фактором, приводящим к появлению данной проблемы, является неровность температурного состояния в периоды начала весны и конца осени (необходимо заметить, что это особенно характерно для северных районов России). Третьим, заключительным, фактором, рассматриваемом авторами в статье, можно считать существующую технологию строительства и эксплуатации малых водопропускных сооружений, которая является достаточно стандартной и распространенной для всех видов водопропускных труб, однако имеет ряд недостатков.

Второй фактор непосредственно связан с рассматриваемой в данной работе проблемой образования наледей на водопропускных сооружениях железных дорог. Из-за снижения средних температур к нулевым отметкам по школе Цельсия статичная вода начинает застывать, превращаться в лёд.

3. Требования, предъявляемые к водопропускным трубам

3. Requirements for culverts

Так как каждое водопропускное сооружение, являясь подсистемой в большой технической системе «Железная/Автомобильная дорога», должно соответствовать всем нормам по срокам эксплуатации, на которые влияют такие критерии, как надёжность, долговечность и ремонтопригодность. Под надёжностью подразумевается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, сохранения и контроля за состоянием.

Надёжность сооружения следует обеспечивать в проектах при строительстве и эксплуатации в следующих направлениях: функциональности, конструктивности и информационной поддержке.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Функциональность обеспечивается путём сохранения состояния безаварийной работы малого водопропускного сооружения в течение указанного гарантийного срока эксплуатации во всех условиях, предусмотренных в нормативах. Также необходимо предусмотреть эффект от критических и посткритических нагрузок на систему сооружения, к таким относятся: высокие паводки, резкое увеличение количества паводковых вод и техногенные нарушения (прорывы канализации и т. п.).

Конструкционная надёжность устанавливается ещё на стадии разработки структуры сооружения. Проект должен обеспечивать прочность и устойчивость всех элементов водопропускного сооружения. Также необходимо описать все регламенты, касающиеся износостойкости конструкции: значения деформативности, подтверждённые расчётами и обеспечивающие сохранение эксплуатационных параметров во всех режимах работы сооружения.

При проектировании сооружения необходимо также учитывать **информационную надёжность**, она должна быть гарантирована доступностью получения всей необходимой информации об изысканиях, проектных решениях и состоянии водопропускного сооружения в целом в течение всего его жизненного цикла. Данная проблема затрагивает как получение общей информации о состоянии конструкции, так и решения, связанные с ситуативными явлениями.

Важным условием обеспечения в проекте информативной надёжности требуемых потребительских свойств водопропускного сооружения является получение, в результате изысканий, полных и качественных (достоверных) исходных данных по топографии, геологии и гидрологии. В результате изысканий, выполненных с требуемой для проектирования точностью, необходимо получить:

- Инженерно-топографический план местности, предусматривающий максимально точное и эффективное расположение водопропускного сооружения относительно водного потока и расположения самой дороги: необходимо установить сооружение таким образом, чтобы основной водный поток от осадков или талых вод следовал точно намеченному пути к водопропускному сооружению и от него, также учитывается возможное (случайное) нарушение работы сооружения и последующей выход из границ обязательным образом не на дорожное полотно.

- Материалы инженерно-геологических изысканий в соответствии с СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» — данные по структуре инженерно-геологического разреза по продольному профилю водопропускного сооружения с указанием возможных оседаний

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

грунта, глубины залегания вечномёрзлых грунтов, грунтовых вод, направления потока грунтовых вод, обязательно учитываются характеристики грунтов, преобладающих на рассматриваемом участке, такие как плотность, влажность, пластичность, тип, удельное сцепление и угол внутреннего трения.

- Ряд данных, учитываемых в гидрологических изысканиях работ. В основном устанавливаются в соответствии с СП 33-101-2003 [39] и СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». Характеристики водосбора с указанием данных по возможности образования наледей, ледоходов, карчеходов, характеристики максимальных возможных водостоков, как талых, так и осадочных, паводков, снежного покрова и условий снегозависимости.

- Характеристика лога перед входом в водопропускное сооружение и перед его выходом. Должны быть предусмотрены структура склона, растительный покров и возможность возникновения солевого потока. Также обязательно нивелируется возможность оползания склонов под тяжестью лога.

- Для проведения техобслуживания обязательным условиям является частичное перекрытие участка пешеходной / автомобильной / железнодорожной зоны для замены или ремонта водопропускного сооружения, поэтому создаются запасные, дублирующие обходы/объезды и зоны для стройплощадок. Для проведения техобслуживания также предоставляются данные по карьерам грунтов и камня.

Долговечность должна гарантировать безоговорочно безопасную работу малых водопропускных сооружений в течение эксплуатационных сроков с соблюдением плановых регламентированных профилактик и ремонтов без снижения функциональной надёжности. Одним из важнейших условий является жёсткий и скрупулёзный метод подбора материалов и технологических решений для строительства (обязательное условие-документальное подтверждение характеристик используемых материалов).

Ремонтопригодность водопропускного сооружения предусматривается с учётом возможности беспрепятственного проведения технических работ в соответствии с эксплуатационным регламентом (также этот же регламент предусматривает и восстановление функциональной надёжности после воздействия критических нагрузок.

Также необходимо заметить, что строительство должно быть завершено в соответствии со всеми требуемыми потребительскими свойствами водопропускных сооружений: по экономичности, по экологичности и эстетичности. Эти свойства предусматривают

правильный выбор как материала строительства, так и типа сооружения. При этом, важным фактором является способность подобрать такой вариант водопропускного сооружения, который бы соответствовал всем требованиям: функциональному назначению, рациональному экономическому показателю эксплуатации, благоприятному воздействию на экологию и эстетику при адаптации к местным условиям.

Экономичность принятых проектных решений должна обуславливаться рациональным соотношением между затратами на строительство и приведёнными строительно-эксплуатационными расходами. В состав строительно-эксплуатационных расходов, должен входить учёт экстремальных факторов таких, как превышающие норму паводки и прорывы. Приоритет отдаётся такому варианту проекта, который будет соответствовать всем перечисленным критериям, но при этом являться максимально экономичным в плане общих затрат на оплату труда и минимальным энергетическим потерям при строительстве и эксплуатации. Учитываются и технологические аспекты: условия доставки строительных материалов, и условия монтажа конструкции на строительной площадке, а также ограниченность материальных ресурсов и сроков строительства.

Экологичность малого водопропускного сооружения должна выполнять требования и мероприятия по охране окружающей среды (без ущерба для функционирования самого сооружения как в процессе строительства, так и в период эксплуатации).

Эстетичность обуславливается ещё на стадии планирования на основе принятых в проекте и плане городского или дорожного проектирования условиях эргономичности и технической оснащённости. Должен быть подобран соответствующий дизайн, а также точность условий габаритного проектирования. Сооружение должно вписываться в ландшафт в целом.

Анализ некоторых случаев аварий на водопропускных сооружениях: разрушения насыпи при образовании наледей в водопропускных сооружениях, прогибов и изгибов железнодорожного полотна и других, показал, что все эти случаи связаны с конструкцией малых водопропускных сооружений: особенность этих конструкций состоит в том, что их малая пропускная способность приводит к аккумуляции воды около насыпи, что предусмотрено нормативными документами (ОДМ 218.2.082-2017).

Аккумуляцией называется процесс накопления воды перед мостом, трубой, или насыпью в период паводков или ливневых дождей. Все стандарты труб предусматривают её наличие, а это в корне неверно, потому что ее образование ведет к процессу возникновения оледенения

входного отверстия трубы. В связи с резким замедлением потока воды начинается образование ледяной корки на входе в отверстие водопропускного сооружения. Поэтому необходимо пересмотреть нормативы, которые должны предусматривать решение проблемы наличия аккумуляции на водопропускных сооружениях железных и автомобильных дорог.

Возможность аккумуляции была предусмотрена нормативными документами в 30-х годах прошлого столетия, в виду отсутствия денежных средств у государства на строительство эксплуатационные затраты, однако, хоть это и позволяло выиграть финансово в затратах на строительство, дальнейшее обслуживание выливалось в большие финансовые траты.

4. Методы борьбы с наледями

4. Anti ice build-up methods

Согласно нормативной литературе, в настоящее время, известны следующие способы борьбы с наледями на водопропускных сооружениях:

- Термический — **утепление русел водотоков** имеет целью воспрепятствовать охлаждению воды, протекающей через искусственные сооружения. Эта мера наиболее целесообразна, если водоток имеет узкое и глубокое русло. Этот метод используется с применением теплоизолирующего материала, накладываемого на всю поверхность трубопровода [12; 13].

- Химический — самый жёсткий для материала труб способ, для его реализации необходим раствор хлора в больших количествах, что ведёт к большим затратам и достижения временного, не долгосрочного эффекта. Также, необходимо заметить, что хлор разрушает белки, убивает бактерии (все, в т. ч. полезные) и микроорганизмы, разрушает структуру воды и почвы. Средства с содержанием хлора и его соединений (хлорорганические) должны быть полностью исключены из системы дренажного водостока [14; 15].

- Механический — **углубление, спрямление и расчистку русел водотоков** делают чтобы уменьшить растекание воды, воспрепятствовать замедлению её течения, придать живому сечению потока форму, менее подверженную промерзанию. Может быть применён только как профилактическое действие, потому как человеческими усилиями практически невозможно полностью очистить трубу от наледей.

- Также возможно бороться с нехваткой пропускной способности трубы из-за наледи путём изменения уклона трубы, но данный метод требует

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

дорогостоящего технического оснащения при установке, что является не экономичным для строительных компаний [12; 13].

Все эти методы являются эффективным способом в борьбе с наледями, однако, их стоимость значительно влияет стоимость жизненного цикла объекта. В связи с этим, экономически выгодным было бы применение методики расчёта, способной предотвратить последующие, излишние, затраты на ремонт и устранение последствий аварий.

Авторским коллективом Института пути, строительства и сооружений, РУТ (МИИТ) разработана новая методика, позволяющая эффективно рассчитывать пропускную способность водопропускных сооружений, что исключает возможность образования негативных процессов, указанных выше.

Как известно, по материалу изготовления тела трубы, бывают: бетонные, железобетонные, металлические (изготовленные из сортамента толстенных труб или листа металлического гофрированного), полимерные (из полиэтилена, полипропилена или полихлорвинила). По форме поперечного сечения — круглые, прямоугольные, эллиптические или так называемой овоидальной формы [16; 17]. Водоотвод может быть организован через один или несколько сквозных проемов. Количество проемов под насыпью земляного полотна определяется при проектировании, исходя из расчетной нагрузки на земляное полотно и пропускной способности возможных габаритов сводчатых отверстий. По числу очков в сечении, бывают — одно-, двух- или многоочковые водопропускные трубы. По ним перебрасываются как поверхностные воды в границах естественных русел, так и ливневые потоки при экстремальном режиме работы водопропускной трубы, во время интенсивных осадков [18; 19]. По работе поперечного сечения трубы бывают: безнапорные, напорные, полунапорные. Различают оголовочные и безоголовочные; фундаментные и бесфундаментные водопропускные трубы.

В данной статье рассматривается пример расчета методики применительно к железобетонным трубам круглого сечения.

В основе новой методики заложена система, предложенная профессором Ю.Л. Щевьёвым (РУТ (МИИТ)). Теоретические основы методики описаны в его докторской диссертации и в монографии «Гипотеза о векторе полных турбулентных напряжений и её использования в задачах гидравлики и гидрологии» [1]. В высшей информационной конструкционной (ВИК) системе рассматриваются скорости, как безразмерные величины в трёх подслоях жидкости: вязкий (1), переходной (2) и турбулентное ядро (3).

$$u^+ = y^+,\ y^+ \leq 2/x, \quad (1)$$

$$u^+ = 2/x*\ln(y^+) - 2/x*\ln(2/x) + 2/x,\ 2/x \leq y^+ \leq (2/x)^2, \quad (2)$$

$$u^+ = 1/x*\ln(y^+) + 2/x,\ (2/x)^2 \leq y^+ \leq 0{,}15/0{,}2Re_*, \quad (3)$$

где u+ и y+ безразмерные значения скорости; x = 0.4 — постоянная Кармана; Re — динамическая постоянная Рейнольдса; «*» — знак произведения; «/» — знак деления.

$$Re = \rho\upsilon d/\eta,$$

где ρ — плотность жидкости; υ — скорость течения жидкости; d — диаметр трубы; η — коэффициент абсолютной (динамической) вязкости.

Тот факт, что в этих формулах содержится параметр Кармана, значения которого находят, как правило, из конкретного профиля скорости, осложняет применение формул на практике. Поэтому нужны дальнейшие исследования, направленные на установление зависимости параметра Кармана от характеристик потока, которые поддаются физической интерпретации и могут быть измерены известными инженерными методами. Вывести зависимости теоретическим путём довольно затруднительно из-за отсутствия информации о закономерностях в изменении параметра Кармана, выявить которые возможно на основе экспериментального изучения турбулентный потоков.

Далее необходимо перейти к размерным значениям скорости U и V по формулам (4) и (5) (табл. 1).

$$U = U^+*V(дин), \quad (4)$$

$$Y = Y^+\mu/V(дин), \quad (5)$$

где U и V размерные значения скорости потока (м/с)

После этого необходимо рассчитать скорость трения и расход для полного напора трубы, но так как методических данных для полного напора трубы круглого сечения найти не представляется возможным, в силу малого количества исследований и работ на эту тему, мы рассматриваем трубу в полунапорном режиме.

Алгоритм решения уравнений сводится к следующему: рассматриваемые, условно возможные, варианты малого водопропускного сооружения (трубы) были определены по графику (рис. 1) и схеме (рис. 2).

Определяем максимальные напор в трубе заданного нами диаметра, рассчитываем эпюру скорости в каждом подслое, используя уравнения (1), (2), (3) системы Ю.Л. Щевьёва.

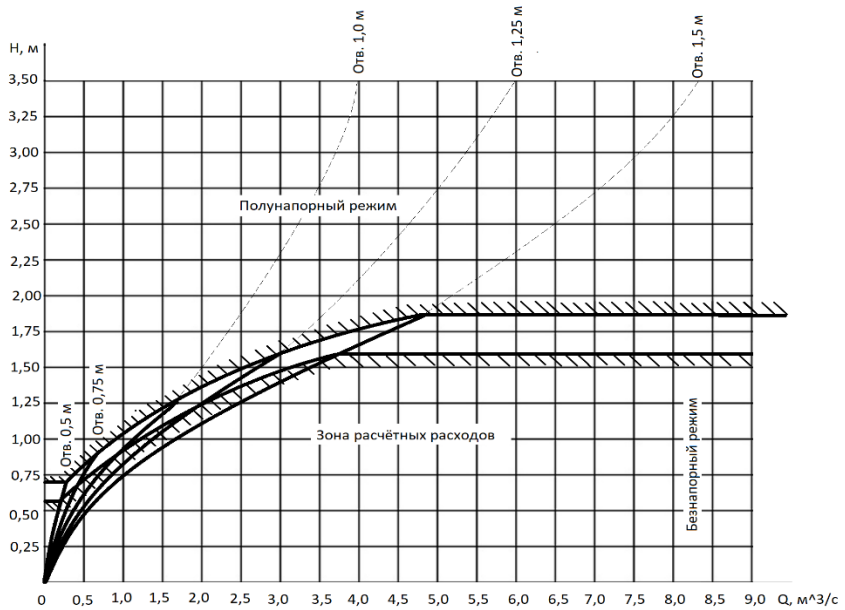

***Рисунок 1**. График возможной водопропускной способности круглых железобетонных труб с цилиндрическим входным звеном (автор Копыленко В.А.)*
***Figure 1.** The graph of the possible round reinforced concrete pipes cultivation capacity with a cylindrical inlet link (author Kopylenko V.A.)*

В вязком подслое задаём безразмерное значение y^+ от 1 до 5 и по формуле (1) рассчитываем безразмерное значение скорости в этом подслое. Для расчёта значения скорости в переходном подслое возьмём уравнение (2) и рассчитываем значение от $y^+ = 15$ до $y^+ = 30$. Далее рассчитываем значение скорости в турбулентном ядре, по уравнению (3), y^+ рассчитываем от 100 до 500.

В качестве примера, берём возможный вариант пропускного сооружения в виде железобетонной водопропускной трубы круглого сечения (рис. 2).

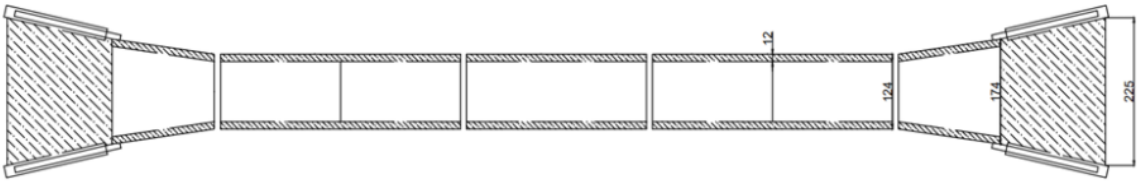

***Рисунок 2.** Водопропускная труба круглого сечения (разработано авторами)*
***Figure 2.** A circular cross-section culvert (developed by the authors)*

Вычисляем значение скорости трения по формуле (6) в трубе и переходим от безразмерных значений скорости U^+ к размерным значения скорости по формуле (7), также необходимо учесть, что в круглых трубах рассматривается полунапорный режим (ΔP может быть равно ½, ¼ или любому другому значению, которое зависит от пропускной способности канавы).

$$V^* = \sqrt{g\frac{\Delta P'}{\Delta L}d} = \sqrt{g\frac{k*\Delta P}{\Delta L}d} = \sqrt{9.81\frac{(3/8)*1.55}{26.78}1.25} = 0.516 \text{ м/с} \quad (6)$$

(Исходные данные, используемые для апробирования методики: $\Delta P' = 3/8*\Delta P = 0.375*1.55 = 0.581$, $\Delta L = 26.78$ м — длина трубы, $d = 1.25$ м — диаметр трубы, $g = 9.81$ м/с — ускорение свободного падения).

5. Результаты

5. Results

Получив эпюры скорости в вязком, переходном и турбулентном ядре находим среднее значение скорости в трубе, для этого умножаем безразмерную скорость трубы на скорость трения V^*. Таким образом мы определили максимально возможною скорость движения воды в трубе выбранного диаметра. Сводные данные расчетов сведены и представлены в таблице 1.

$$V = V^**V^+ = 0.516*11.42 = 5.89 \text{ м/с} \quad (7)$$

Остаётся посчитать расход трубы Q при данном диаметре, длине и напоре по формуле (8). Проверка выполняется по графику возможной водопропускной способности круглых железобетонных труб.

$$Q = (\pi d^2 U_{ср}/4)*k = (3.14*1.25^2*5.89/4)*(3/8) = 2.71 \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

Таблица 1 / Table 1

Сводные данные по расчету
Summary calculation data

y^+	1	2	3	4	5	$\sum y^{+(вяз)}/n$	Среднее Average
Вязкий Viscous	1	2	3	4	5	3	11.42
y^+	15	20	25	30		$\sum y^{+(перех)}/n$	
Переход. Transition	10.49	11.93	13.05	13.96		12.36	
y^+	100	200	300	400	500	$\sum y^{+(турб.ядр.)}/n$	
Турб. ядро Turbulent core	16.51	18.25	19.26	19.98	20.54	18.91	

Разработано авторами. Developed by the authors

Если при расчётах получается так, что пропускная способность получилась меньше, чем приток воды к насыпи, то тогда необходимо выбрать такой диаметр трубы, чтобы расход оставался в пределах лабораторных исследований (то есть реальным), пересчитываем все полученные значения и получаем необходимый нам расход, таким образом добиваясь водного баланса в стоке.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Заключение

Conclusion

Пусть небольшие аварии, связанные с водопропускными сооружениями на железных и автомобильных дорогах, и кажутся немного незначительными, но в совокупности всех случаев видится серьезность возникающей проблемы: затопления (и ряд других аварийных случаев) на важных для транспортной инфраструктуры страны автомобильных и железных дорогах приводят к проблемам как финансовым, так и нематериальным. Последствия халатного отношения к проблеме будут приводить к увеличению количества возникающих аварий.

Таким образом, после тщательного анализа, был сделан вывод, что решение вопроса по образованию наледей состоит в том, что необходимо использовать новую, предложенную авторами методику, которая позволяет пересчитать водопропускную способность сооружений на железных дорогах России на этапе проектирования и перейти от существующих размеров пропускных сооружений к расчётным пропускным габаритам. При подобном подходе, профильные организации смогут эффективнее и экономичнее планировать бюджет содержания конструкций и перераспределить ресурсы на более важные мероприятия. В долгосрочной перспективе, использование этого варианта расчета при проектировании конструкций, сэкономит большое количество денег на обслуживании малых водопропускных сооружений.

От авторского коллектива мы хотим поблагодарить специалистов и РУТ (МИИТ), которые помогли нам в накоплении материала, консультациями и расширением темы исследования в создании данной статьи: Замуховскому Александру Владимировичу и Копыленко Владимиру Абрамовичу.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Щевьёв, Ю.Л.** Гипотеза о векторе полных турбулентных напряжений и её использование в решениях задач гидромеханики и гидравлики / Ю.Л. Щевьёв. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 120 с.
2. **Савельева, Т.Н.** Расчёт гидравлических параметров водопропускных труб и его реализация в программных продуктах / Т.Н. Савельева. — DOI https://doi.org/10.17273/CADGIS.2019.2.6 // САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2019. — № 2. — С. 38–43. — URL: http://www.cadgis.ru/2019/13/06 (дата обращения: 24.02.2021).
3. **Черных, О.Н.** Экспериментальные исследования металлической гофрированной водопропускной трубы при частично-напорном режиме / О.Н. Черных, В.И. Алтунин, А.В. Бурлаченко // Приволжский научный журнал. — 2015. — № 1. — С. 28–36. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23140560 (дата обращения: 16.02.2021).

4. **Белявский, Ю.В.** Повышение надежности водопропускных металлических и железобетонных труб / Ю.В. Белявский, А.В. Мишутин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. — 2005. — № 9. — С. 146–148. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25917323 (дата обращения: 16.02.2021).

5. **Moussa, A.** Use of Rigid Geofoam Insulation to Mitigate Frost Heave at Shallow Culvert Installations / A. Moussa, A. Shalaby, L. Kavanagh, P. Maghoul. — DOI https://doi.org/10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000185 // Journal of Cold Regions Engineering. — 2019. — Т 33. — № 3. — С. 5019003. — URL: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CR.1943-5495.0000185 (дата обращения: 24.02.2021).

6. **Лондагин, Г.Е.** Трактат по борьбе с обледенением водопропускных труб и проезжей части / Г.Е. Лондагин. — Вальдес: Департамент Автомобильных Дорог Южного Центрального Округа, 2007. — 23 с. — URL: https://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/19680517.pdf (дата обращения: 02.02.2021). — (На англ. яз.).

7. **Zhang, Y.** Frost-Induced Heaving of Soil around a Culvert / Y. Zhang, R.L. Michalowski. — DOI https://doi.org/10.1061/9780784412121.458 // GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, March 25–29, 2012 / Окленд: American Society of Civil Engineers, 2012. — С. 4456–4465. — URL: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412121.458 (дата обращения: 02.02.2021).

8. **Bruno, L.** Windblown sand along railway infrastructures: A review of challenges and mitigation measures / L. Bruno, M. Horvat, L. Raffaele. — DOI https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.04.021 // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 2018. — Т 177. — С. 340–365. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610518301442 (дата обращения: 24.02.2021).

9. **Tao Q.** Influence of filling properties and culvert structure parameters on the soil arching effect of upper-buried-type culverts / Q. Tao, Z. He, Y. Jia. — DOI https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103003 // Results in Physics. — 2020. — Т 16. — С. 103003. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379719324908 (дата обращения: 24.02.2021).

10. **Sawamura, Y.** Deformation behavior and acting earth pressure of three-hinge precast arch culvert in construction process / Y. Sawamura, H. Ishihara, Y. Otani, K. Kishida, M. Kimura. — DOI https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.09.005 // Underground Space. — 2019. — Т 4. — № 3. — С. 251–260. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967418300023 (дата обращения: 24.02.2021).

11. **Kang, J.** Effects of frictional forces acting on sidewalls of buried box culverts / J. Kang, F. Parker, Y.J. Kang, C.H. Yoo. — DOI https://doi.org/10.1002/nag.628 // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. — 2008. — Т 32. — № 3. — С. 289–306. — URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/nag.628 (дата обращения: 24.02.2021).

12. **Корунов, М.М.** Речные обледенения на лесовозных дорогах / М.М. Корунов // Лесная промышленность. — 1939. — № 9. — С. 35–39.

13. **Петров, В.Г.** Наледи на Амурско-Якутской магистрали: С альбомом планов наледей / В.Г. Петров. — Ред. изд. В.Л. Комаров; Предисловие: М. Сумгин; Акад. наук СССР. — Л.: Акад. наук СССР, Науч.-иссл. автомобильно-дорожный ин-т НКПС СССР, 1930. — 177 с.

14. **Пархоменко, В.М.** Схемы операционного контроля качества работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог / В.М. Пархоменко. — Киев: Будівельник, 1982. — 48 с.

15. Проектирование автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника / Под редакцией Г.А. Федотова. — М.: Транспорт, 1989. — 437 с.

16. **Лисов, В.М.** Дорожные водопропускные трубы / В.М. Лисов. — М.: Информ.-изд центр «ТИМР», 1998. — 140 с.

17. **Вейцман, М.И.** Краткий справочник строителя автомобильных дорог / М.И. Вейцман, В.П. Егозов. — М.: Транспорт, 1972. — 279 с.

18. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника / Васильев А.П., Баловнев В.И. и др. — Под редакцией А.П. Васильева. — М.: Транспорт, 1989. — 287 с.

19. **Целищев, Г.А.** Растяжка конструкций водопропускных труб / Г.А. Целищев, А.В. Лобастов // Дневник науки. — 2019. — № 1. — С. 24. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=36901639 (дата обращения: 16.02.2021).

Сведения об авторах:
Щевьёв Юрий Леонидович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия, e-mail: yshchevev@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=739734

Телятникова Наталья Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия, e-mail: sharklike@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9686-3681
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=528740
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57200191796

Кручинин Илья Дмитриевич — студент специальности «Мосты и тоннели», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия, e-mail: kruchinin_id_0916@1511.ru

Статья получена: 12.04.2021. Принята к публикации: 30.09.2021. Опубликована онлайн: 14.10.2021.

REFERENCES

1. Shchev'yev Yu.L. [Hypothesis on the vector of total turbulent stresses and its use in solving problems of hydromechanics and hydraulics]. Moscow: Energoatomizdat; 1995. (In Russ.).

2. Savelyeva T.N. Calculation of hydraulic parameters of culverts and its implementation in software products. *CAD & GIS for roads*. 2019; (2): 38–43. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.17273/CADGIS.2019.2.6.

3. Chernykh O.N., Altunin V.I., Burlachenko A.V. Experimental Investigation of Corrugated Metal Pipe with Partly Full Flow. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2015; (1): 28–36. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=23140560 (accessed 16th February 2021). (In Russ., abstract in Eng.).

4. Belyavskiy Yu.V., Mishcuhtin A.V. Improving the reliability of metal and reinforced concrete culverts. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2005; (9): 146–148. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=25917323 (accessed 16th February 2021). (In Russ.).

5. Moussa A., Shalaby A., Kavanagh L., Maghoul P. Use of Rigid Geofoam Insulation to Mitigate Frost Heave at Shallow Culvert Installations. *Journal of Cold Regions Engineering*. 2019; 33(3): 5019003. (In Eng.). DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000185.

6. Londagin H.E. A Treatise On Control Of Culvert And Roadway Icing. Valdez: Departament of Highwaws South Central District; 2007. Available at: https://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/19680517.pdf (accessed 2nd February 2021). (In Eng.).

7. Zhang Y., Michalowski R.L. Frost-Induced Heaving of Soil around a Culvert. In: *GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, March 25–29, 2012*. Oakland: American Society of Civil Engineers; 2012. p. 4456–4465. Available at: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412121.458 (accessed 2nd February 2021). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1061/9780784412121.458.

8. Bruno L., Horvat M., Raffaele L. Windblown sand along railway infrastructures: A review of challenges and mitigation measures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2018; 177: 340–365. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.04.021.

9. Tao Q., He Z., Jia Y. Influence of filling properties and culvert structure parameters on the soil arching effect of upper-buried-type culverts. *Results in Physics*. 2020; 16: 103003. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103003.

10. Sawamura Y., Ishihara H., Otani Y., Kishida K., Kimura M. Deformation behavior and acting earth pressure of three-hinge precast arch culvert in construction process. *Underground Space*. 2019; 4(3): 251–260. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.09.005.
11. Kang J., Parker F., Kang Y.J., Yoo C.H. Effects of frictional forces acting on sidewalls of buried box culverts. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2008; 32(3): 289–306. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1002/nag.628.
12. Korunov M.M. River icing on forest roads. *Timber industry*. 1939; (9): 35–39. (In Russ.).
13. Petrov V.G. [Ice build-up on the Amur-Yakutsk highway: With an album of ice build-up plans]. Leningrad: Acad. Sciences of the USSR, Scientific research. automobile and road institute of the NKPS of the USSR; 1930. (In Russ.).
14. Parkhomenko V.M. [Operational quality control schemes for repair and maintenance of highways]. Kiev: Budivel'nik; 1982. (In Russ.).
15. Fedotova G.A. ed. [Road design. Road Engineer Handbook]. Moscow: Transport Publ.; 1989. (In Russ.).
16. Lisov V.M. [Road culverts]. Moscow: Inform.-Publishing Center "TIMR"; 1998. (In Russ.).
17. Veytsman M.I., Egozov V.P. [Road Builder Quick Reference Guide]. Moscow: Transport Publ.; 1972. (In Russ.).
18. Vasil'yev A.P. ed. [Repair and maintenance of highways. Road Engineer Handbook]. Moscow: Transport Publ.; 1989. (In Russ.).
19. Tselishchev G.A., Lobastov A.V. Stretching of Culvert Designs. *Dnevnik Nauki*. 2019; (1): 24. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=36901639 (accessed 16th February 2021). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:
Yuri L. Shcheviev — Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, e-mail: yshchevev@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=739734

Natalia A. Telyatnikova — Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, e-mail: sharklike@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9686-3681
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=528740
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57200191796

Ilya D. Kruchinin — Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, e-mail: kruchinin_id_0916@1511.ru

Submitted: 12th April 2021. Revised: 30th September 2021. Published online: 14th October 2021.