Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 3 / 2025, Vol. 17, Iss. 3 https://esj.today/issue-3-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/67SAVN325.pdf

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Заровнятных, И. С. Особенности декомпозиционного мультиуровневого проектирования металлических гофрированных водопропускных труб / И. С. Заровнятных, А. Н. Маринин // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 3. — URL: https://esj.today/PDF/67SAVN325.pdf.

For citation:
Zarovniatnykh I.S., Marinin A.N. Features of multi-level decomposition design of metal corrugated culverts. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(3): 67SAVN325. Available at: https://esj.today/PDF/67SAVN325.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 625.7:624.1

Заровнятных Игорь Сергеевич
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
E-mail: igi72@bk.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1300185

Маринин Александр Николаевич
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: a-marinin@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1848-730X
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=625628

Особенности декомпозиционного мультиуровневого проектирования металлических гофрированных водопропускных труб

Аннотация. Металлические гофрированные водопропускные трубы широко применяются в дорожном строительстве благодаря своей прочности, экономичности и простоте монтажа. Однако их надежность зависит от множества факторов, включая механические нагрузки, коррозионные процессы, качество монтажа и эксплуатационные условия.

В статье представлен системный подход к проектированию металлических гофрированных водопропускных труб с использованием декомпозиционного мультиуровневого метода, позволяющего учитывать широкий спектр технических, технологических и экологических факторов. Рассмотрены основные причины повреждений металлических гофрированных водопропускных труб — коррозия, деформации из-за некачественной засыпки, засоры, нарушения технологии монтажа и недостатки проектирования, которые могут привести к аварийным ситуациям и разрушению дорожной инфраструктуры. Предложенная методология декомпозиционного мультиуровневого проектирования предполагает поэтапное разбиение сложной системы на отдельные подсистемы, начиная с выбора местоположения и определения пропускной способности трубы и заканчивая выбором материалов, конструктивных решений, технологии строительства и антикоррозионной защиты. Каждый уровень проекта детализируется и оптимизируется независимо, но с учётом взаимодействия с другими уровнями, что обеспечивает комплексный подход к проектированию. Также рассмотрены экономические

аспекты: оценка капитальных и эксплуатационных затрат, выбор оптимальных решений по критерию минимальных приведённых затрат. Особое внимание уделено применению современных программных средств для моделирования и расчёта конструкций, перспективам внедрения технологий информационного моделирования и искусственного интеллекта в проектную практику. Цель исследования — повысить надёжность, долговечность и экономическую эффективность сооружений за счёт применения научно-обоснованного подхода к проектированию.

Ключевые слова: металлические гофрированные трубы; декомпозиционное проектирование; декомпозиция; многоуровневый анализ; водопропускные сооружения; алгоритм проектирования; уровень проектирования

Введение

Металлические гофрированные водопропускные трубы (МГВТ) широко используются в дорожном и инженерном строительстве для пропуска воды под насыпями автомобильных и железных дорог, а также в системах водоотвода. Эти конструкции обладают высокой прочностью, технологичностью монтажа и экономической эффективностью [1].

Однако их надежная работа зависит от правильного проектирования, учитывающего множество факторов: нагрузки от транспорта и насыпи, свойства грунтового окружения, коррозионную стойкость, условия эксплуатации и другие параметры. Несмотря на многие преимущества, такие трубы подвержены различным дефектам, которые могут привести к аварийным ситуациям на автомобильных дорогах [2–6].

К основным видам дефектов и повреждений МГВТ можно отнести:

1. Коррозионное разрушение является одной из главных причин повреждения МГВТ. Под действием воды, химических реагентов (в частности, используемых зимой на дорогах), повышенной влажности и агрессивных грунтов происходит постепенное разрушение металла. Особенно уязвимыми являются места сварных швов и участки с нарушенным защитным покрытием.
2. Некачественная подготовка основания или обратной засыпки может привести к деформации трубы. В результате возникают овализация (изменение формы поперечного сечения), прогибы, перекосы, которые снижают несущую способность конструкции.
3. Внутренние поверхности труб могут засоряться песком, льдом, растительными остатками и мусором. Это снижает пропускную способность, вызывает застой воды и усиливает коррозию. Зимой замерзание воды может привести к разрыву стенок трубы.
4. Плохое качество сборки или износ уплотнителей приводит к протечкам. Через щели между секциями вымывается грунт, что создает полости и угрозу провала дорожной одежды.
5. Неправильная установка, использование недостаточно квалифицированного персонала, нарушение технологии монтажа могут стать причиной трещин, вмятин и других повреждений еще до начала эксплуатации.

1. Причины аварий с использованием МГВТ

Аварии металлических гофрированных водопропускных труб (МГВТ) могут происходить по различным причинам. Одной из основных является неправильное проектирование и выбор диаметра трубы. Если труба имеет меньший размер, чем требуется по гидрологическим

условиям, это может вызвать затопление дороги и разрушение всей конструкции, особенно во время паводков или сильных дождей. Важное значение также имеет соблюдение технологии устройства земляного полотна. Нарушения, такие как недостаточное уплотнение грунта вокруг трубы или использование некачественных материалов для обратной засыпки, приводят к просадкам и деформациям сооружения.

Ещё одной частой причиной аварий становится отсутствие регулярного технического обслуживания. Забитые, заиленные или подверженные коррозии трубы теряют свою функциональность и становятся потенциальной угрозой. Не менее значимо влияние внешней среды: увлажнение грунта, длительное воздействие воды, а также наличие химически активных веществ в почве и осадках ускоряют процесс разрушения труб. Кроме того, аварии могут происходить из-за превышения проектной нагрузки, особенно если труба входит в состав дорожной конструкции и подвергается повышенным транспортным воздействиям.

Последствия аварий с МГВТ могут быть весьма серьезными. Они включают образование ям и просадок на дорожном покрытии, частичный или полный обрыв трубопровода, затопление участков дороги, угрозу безопасности дорожного движения и значительные затраты на восстановительные работы.

Для предупреждения аварий необходимо принимать комплексные меры. Прежде всего, следует качественно подбирать материалы — использовать оцинкованные или полимерные трубы, устойчивые к коррозии. Важно строго соблюдать технологию монтажа: правильно готовить основание, обеспечивать надежное уплотнение грунта и герметичность стыков. Необходимо проводить регулярные осмотры и обслуживание труб, включая их очистку и контроль состояния несущих элементов и защитного покрытия. Также критично выполнять точный гидрологический расчет для определения необходимой пропускной способности труб с учетом климатических условий региона.

2. Понятие декомпозиционного мультиуровневого проектирования

Особенности проектирования МГВТ требует применения современных методов анализа и моделирования, одним из которых является декомпозиционное мультиуровневое проектирование. Этот подход позволяет учитывать взаимодействие различных уровней системы — от материала до всей конструкции в целом — и обеспечивает оптимальное решение с точки зрения надежности, экономичности и долговечности.

Мультиуровневое проектирование — это комплексный подход к разработке проектной документации, при котором учитываются различные уровни воздействия на сооружение: от общей схемы трассы до локальных напряжений в материале конструкции. Такой метод позволяет минимизировать риски аварийных ситуаций, повысить экономическую эффективность и учесть специфику конкретного участка.

Декомпозиционное мультиуровневое проектирование (ДМП) (Multilevel Decomposition Design) — это методология создания сложных систем, основанная на поэтапном разбиении системы на более простые логически завершённые подсистемы или уровни (декомпозиции), каждый из которых может быть исследован и оптимизирован независимо, но с учётом взаимодействия между уровнями [7–9].

Эта методология сочетает в себе два ключевых принципа:

- декомпозиция — процесс разделения системы на функциональные блоки или модули;
- многоуровневость — рассмотрение системы на нескольких уровнях абстракции, от общего к частному.

Таким образом, система рассматривается как иерархия взаимодействующих компонентов, где каждый уровень представляет собой определенную степень детализации предыдущего.

Система представляется в виде дерева или графа, где верхние уровни содержат обобщённое описание системы, а нижние уровни — конкретные детали. На каждом уровне система разбивается на подсистемы, которые могут быть независимо спроектированы, протестированы и оптимизированы. Каждый уровень описывает систему на определённой степени абстракции, что упрощает понимание и управление сложными процессами. Каждый выделенный модуль должен быть максимально автономным, что облегчает повторное использование, тестирование и сопровождение.

Мультиуровненвая декомпозиция может использоваться в различных отраслях (системная инженерия, разработка программных продуктов, электроника и т. д.). Кроме того, актуально использовать данный подход при проектировании всевозможных зданий и сооружений, в. т. ч. в области транспортного строительства.

При декомпозиционном мультиуровневом проектировании важно выполнять определенные этапы, основной перечень которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

Этапы декомпозиционного мультиуровневого проектирования

Этап	Состав этапа
1. Формирование общей концепции	Определение цели и назначения системы. Выявление ключевых функций и требований.
2. Верхнеуровневая декомпозиция	Система разбивается на крупные блоки или подсистемы. Определяются связи между ними.
3. Построение иерархии уровней	Каждый блок анализируется и при необходимости разбивается на более мелкие компоненты. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнут необходимый уровень детализации.
4. Разработка на каждом уровне	Для каждого компонента создаётся спецификация. Разрабатываются алгоритмы, интерфейсы, прототипы.
5. Интеграция и согласование	Компоненты объединяются в единую систему. Проверяется корректность взаимодействия между уровнями. Тестирование и оптимизация Проводится проверка работоспособности всей системы. Вносятся коррективы и оптимизации на разных уровнях.

Составлено авторами

3. Декомпозиционное мультиуровневое проектирование металлических гофрированных водопропускных труб

В данной статье описывается возможность использования мультиуровневого проектирования для металлических гофрированных водопропускных труб.

Применение металлических гофрированных труб в качестве водопропускных сооружений должно подчиняться принципам технико-экономического обоснования (ТЭО). При сравнении различных вариантов конструкций необходимо учитывать следующие виды затрат:

- единовременные капитальные затраты (стоимость материалов, доставки и монтажа);
- периодические капитальные затраты (необходимость ремонта или замены элементов);
- ежегодные эксплуатационные затраты (обслуживание, осмотр, очистка труб).

При проектировании следует выполнять оценку применимости известных вариантов проектных решений (использовать накопленные базы проектов-прототипов) с учетом условий объекта капитального строительства (особенности территориальные и эксплуатационные), ограничений нормативных документов и задания на проектирования, исходных данных и результатов предпроектной проработки.

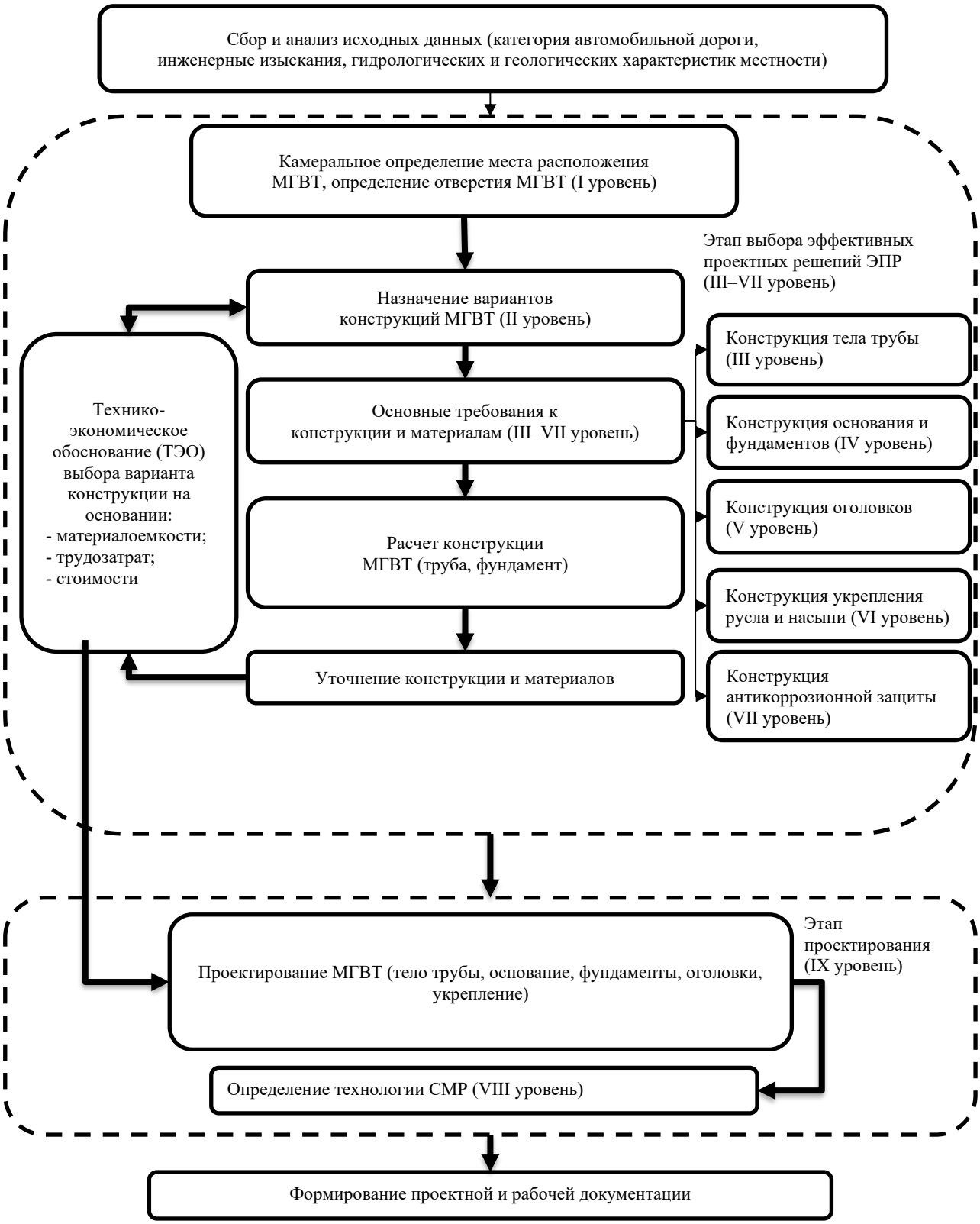

Рисунок 1. *Блок-схема алгоритма проектирования МГВТ с ДМП (составлено авторами)*

Проектируемая система подлежит анализу на девяти уровнях иерархии описания технических решении:

I уровень — назначение местоположения МГВТ и определение отверстия;

II уровень — назначение конструкции МГВТ;

III уровень — проектирование конструкции тела трубы;

IV уровень — проектирование конструкции основания и фундаментов;

V уровень — назначение конструкции оголовков;

VI уровень — назначение конструкции укрепления русла и регуляционных сооружений;

VII уровень — назначение антикоррозионной защиты;

VIII уровень — определение технологии строительства;

IX уровень — оптимизация проектных решений.

На рисунках 2–7 показаны примеры алгоритмов проектирования МГВТ для уровней I, II, VI, VII, VIII, IX. Алгоритм для уровней III, IV, V строится по аналогии с уровнями VI, VII используя необходимые исходные данные и параметры проектирования.

Выбор критерия оптимальности является важнейшим элементом проектирования МГВТ, определяющим его результаты.

Полным критерием оптимальности являются приведенные затраты, учитывающие как стоимость строительства, так и эксплуатационные расходы.

На уровне I «Назначение местоположения МГВТ н определение отверстия» определяется назначение и техническая категория автомобильной дороги.

Местоположение водопропускной трубы назначается на основе комплексного анализа инженерно-геологических, гидрологических, топографических и дорожных условий. Согласно СП 35.13330.2011[1], «число и размеры водопропускных сооружений на пересечении водотока следует определять на основе гидравлических расчетов, при этом необходимо учитывать последующее влияние сооружения на окружающую среду». Основная цель — обеспечить бесперебойный отвод воды, сохраняя устойчивость земляного полотна дороги и предотвращая подтопление.

Определение отверстия водопропускной трубы производится на основе гидрологических, гидравлических и русловых расчетов. От величины отверстия зависят пропускная способность и режим работы трубы. Согласно действующим нормативным документам, для водопропускных труб следует предусматривать безнапорный режим работы.

На уровне II «Назначение конструкции МГВТ» определяется оптимальная конструкция сооружения с учетом влияния местных условии:

- характера пересекаемого водотока;
- режима водотока;
- топографии местности;
- категории проходящей по мостовому сооружению автомобильной дороги;

[1] СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1, 2, 3): дата введения 2010-12-28. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 346 с.

- грунтовых условий;
- наличия местных строительных материалов;
- климатических особенностей района.

Алгоритм выбора рационального типа водопропускных металлических гофрированных труб приведен в отраслевом дорожном методическом документе ОДМ 218.2.001-2009.[2]

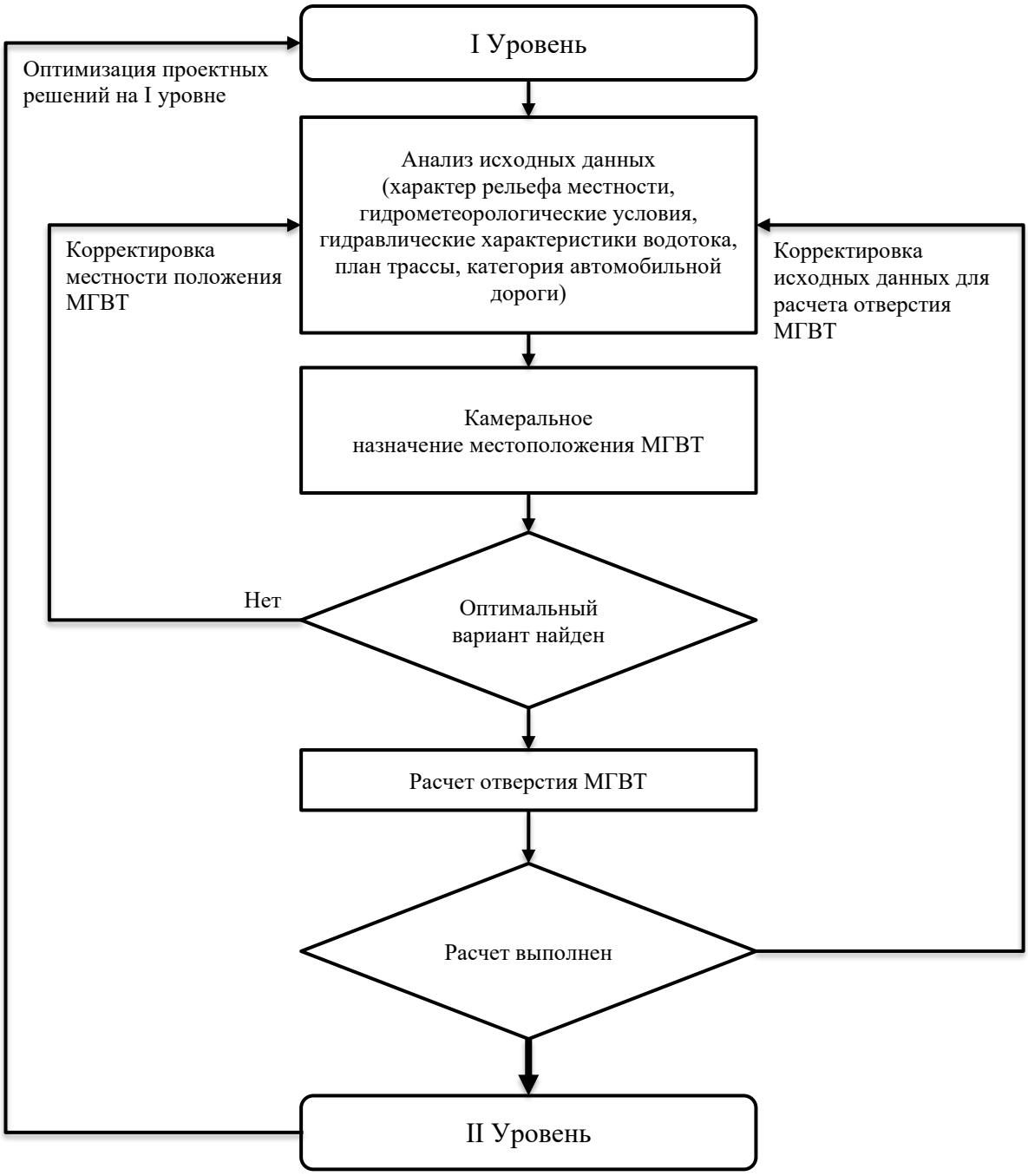

Рисунок 2. *Блок-схема алгоритма назначения местоположения МГВТ и определение отверстия (I уровень) (составлено авторами)*

[2] 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.: Росавтодор, 2009. — 200 с.

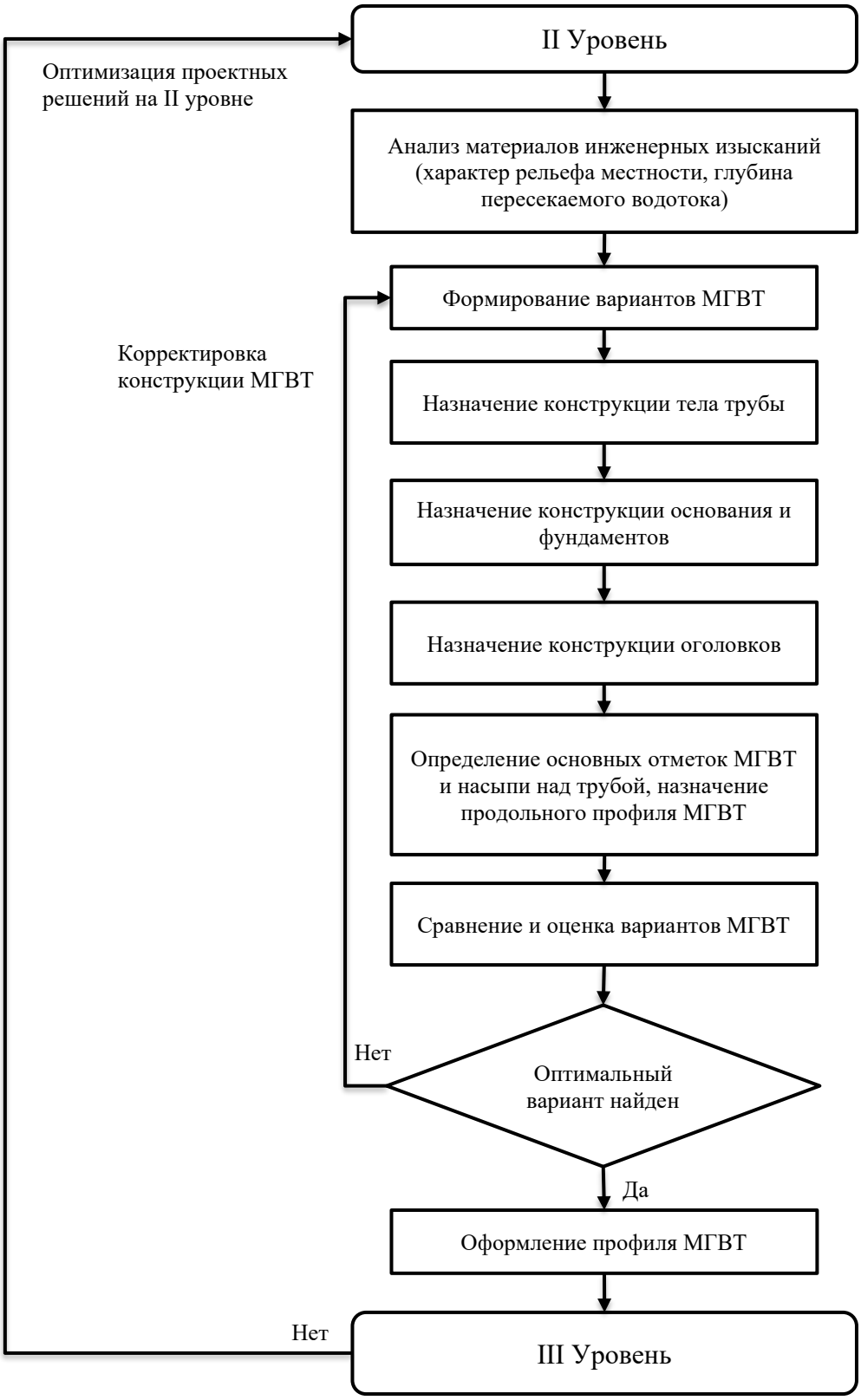

Рисунок 3. *Блок-схема алгоритма назначения конструкции МГВТ (II уровень) (составлено авторами)*

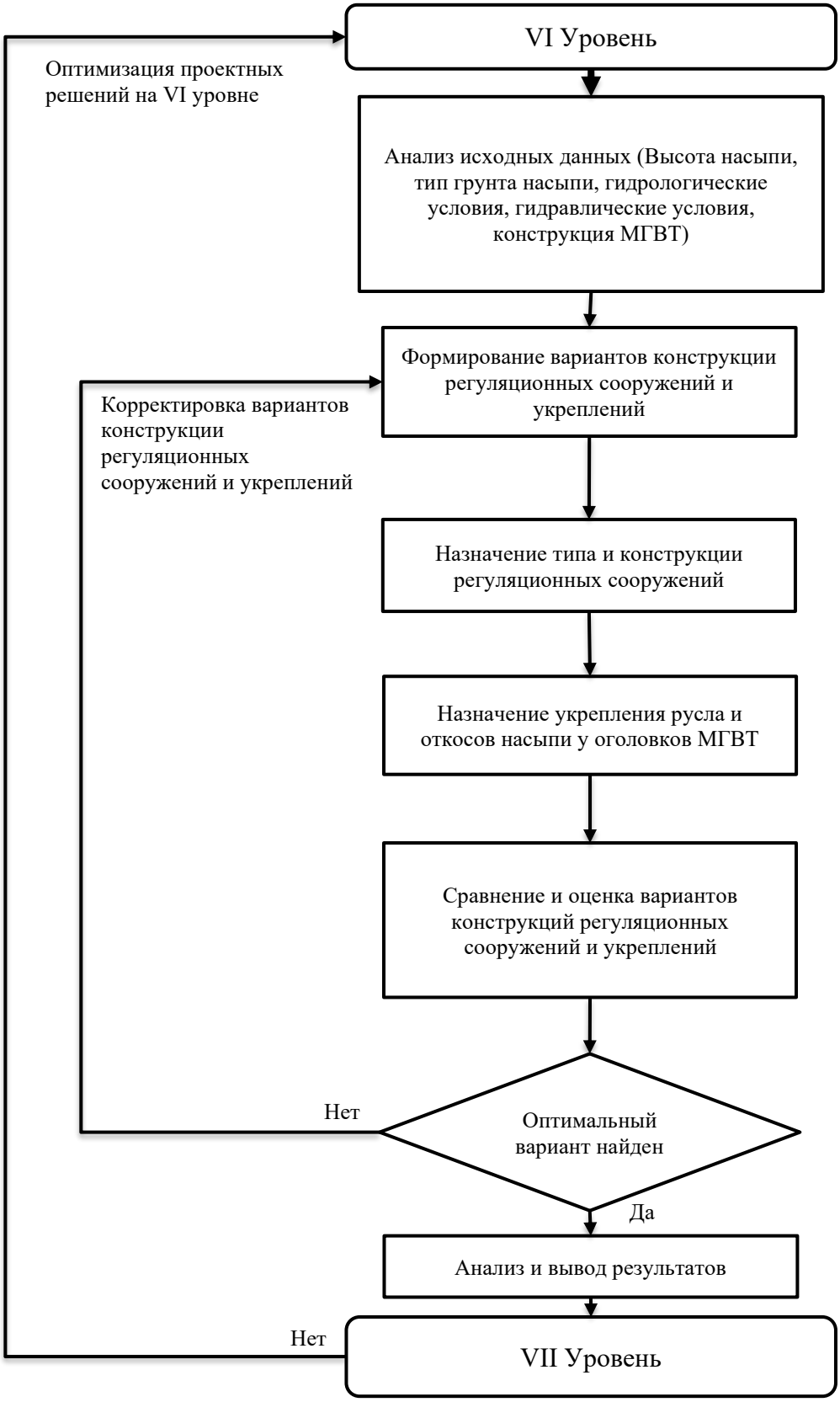

Рисунок 4. *Блок-схема алгоритма назначения укрепления русла и регуляционных сооружений (VI уровень) (составлено авторами)*

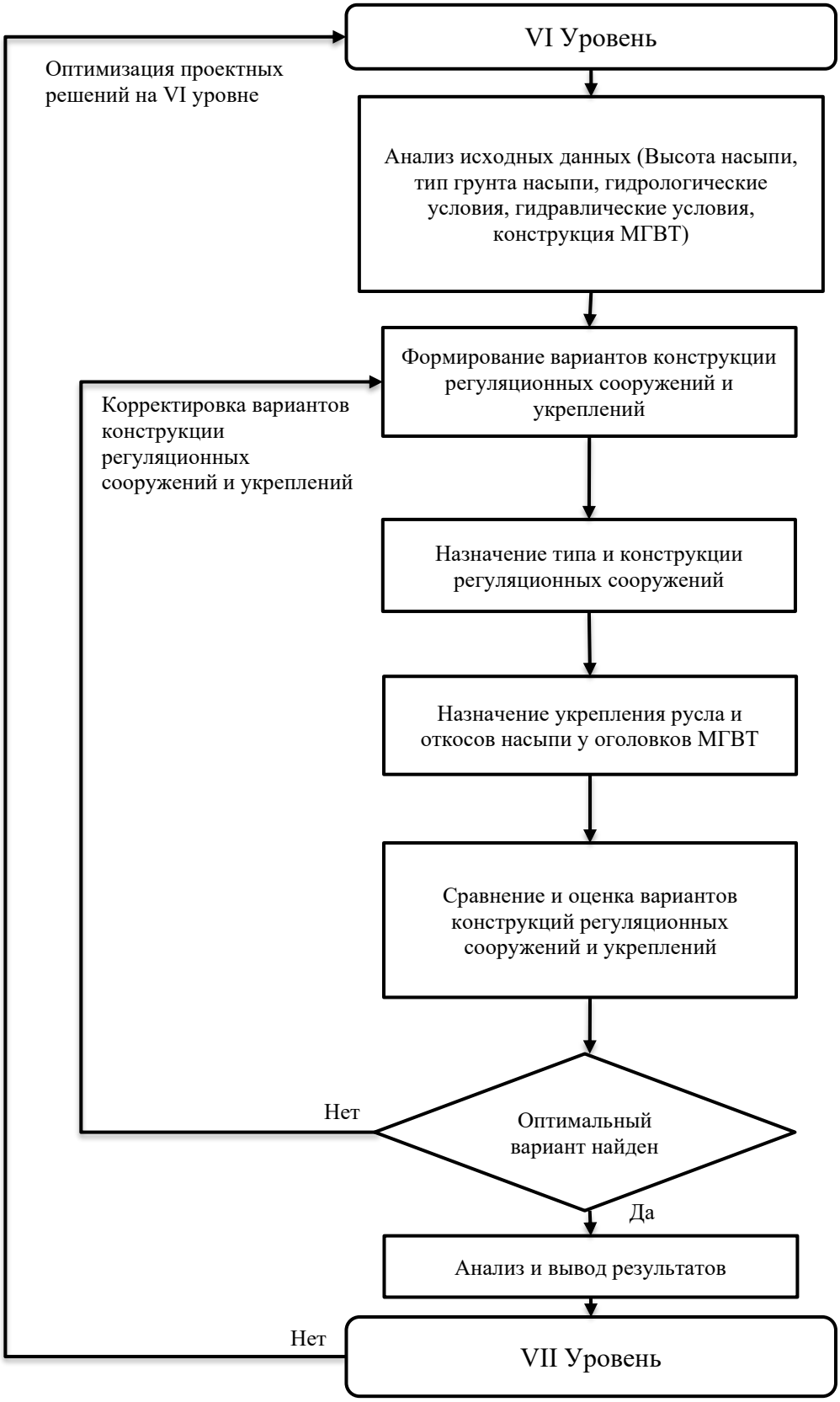

Рисунок 5. *Блок-схема алгоритма назначения антикоррозионной защиты (VII уровень) (составлено авторами)*

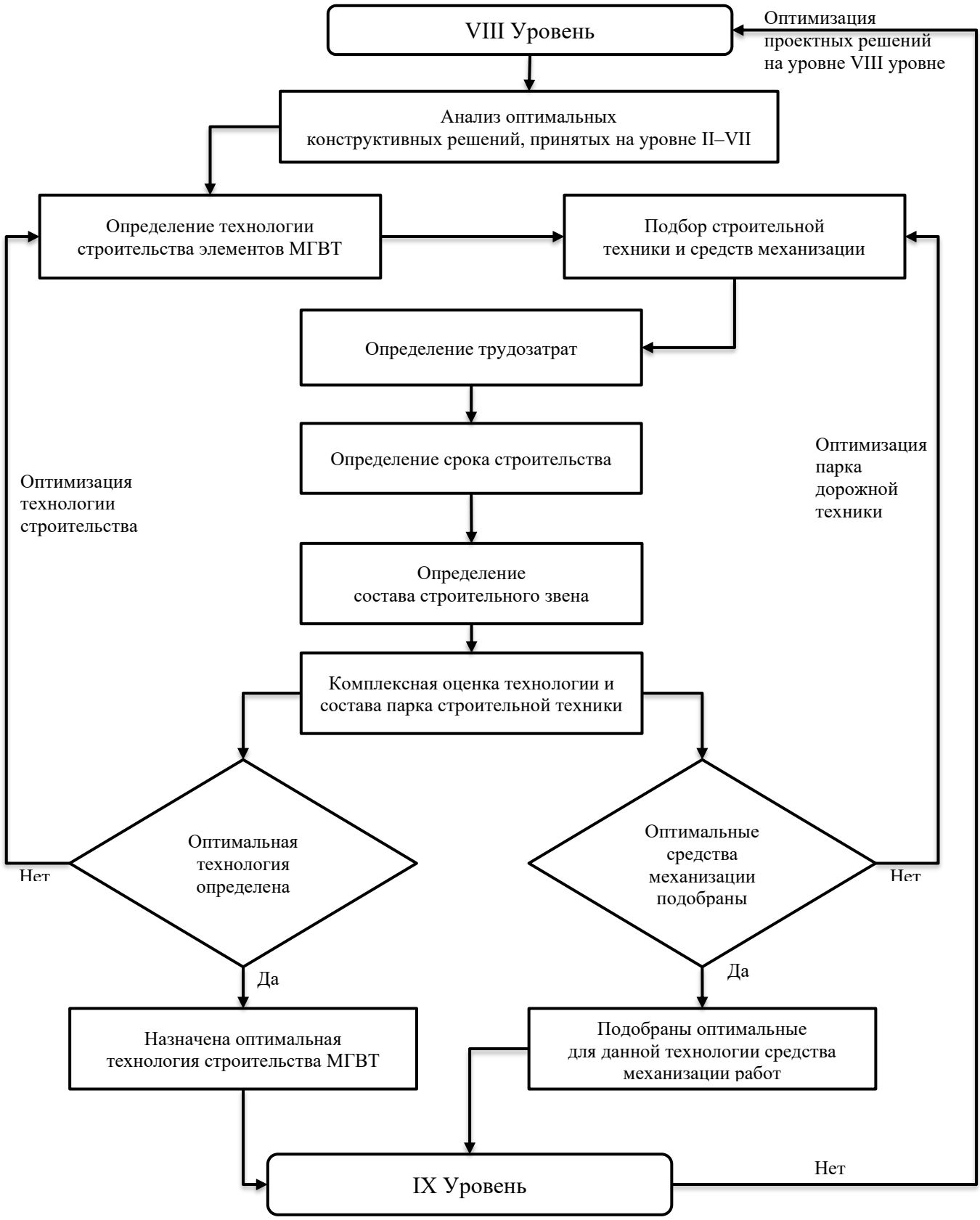

Рисунок 6. *Блок-схема алгоритма определения технологии строительства (VIII уровень) (составлено авторами)*

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

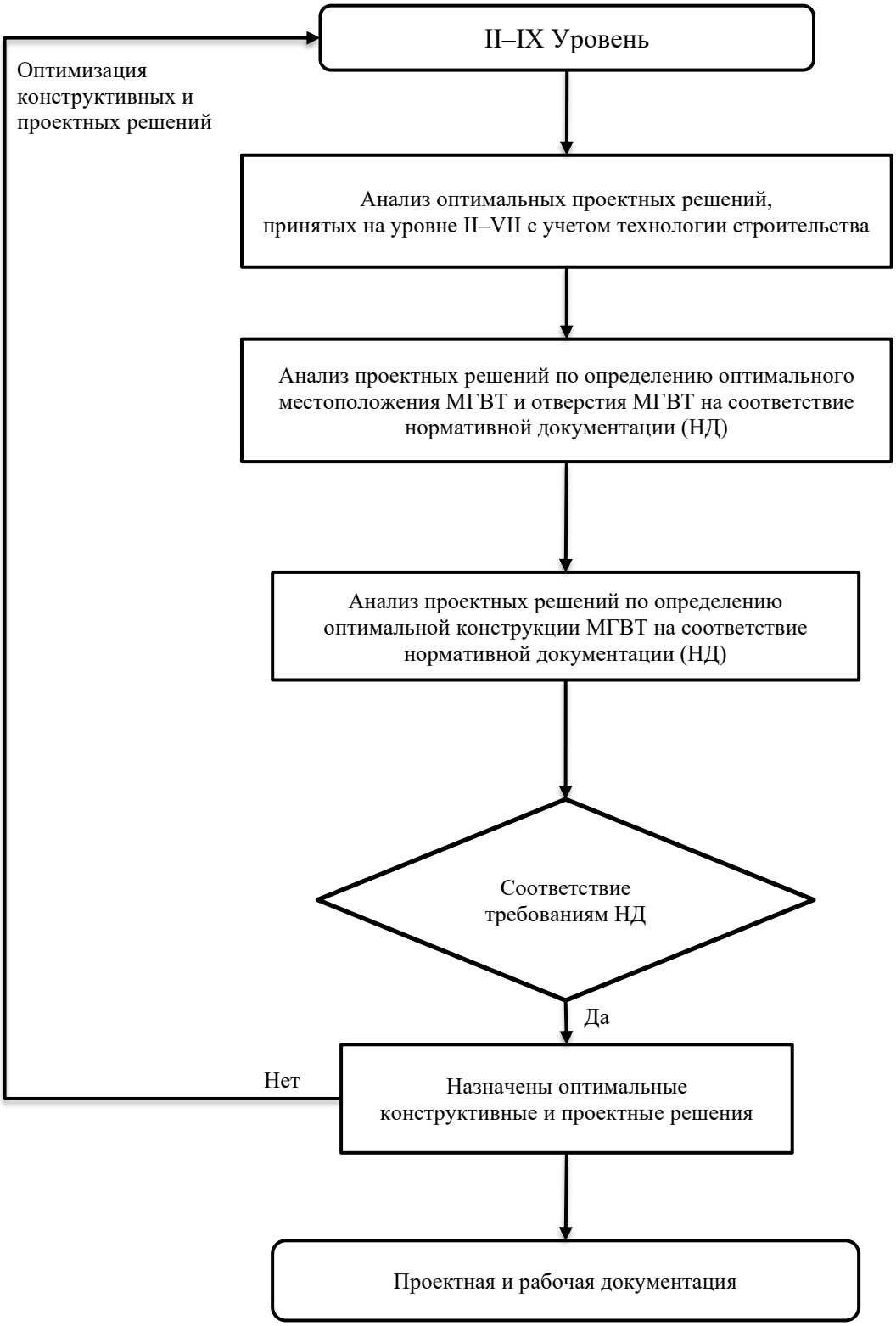

Рисунок 7. *Блок-схема алгоритма оптимизации проектных решений (IX уровень) (составлено авторами)*

Оптимальный тип МГВТ можно выбрать, разрабатывая несколько вариантов конструкций, подвергая их технике-экономическому сравнению. При выполнении технико-экономического обоснования вариантов МГВТ проводят их полноценный критический анализ, на входе которого рассматриваются наиболее значимые экономические, эксплуатационные, технические и производственные показатели.

При выборе типа и конструкции МГВТ необходимо получить конструктивные решения, для которых при заданном сроке службы полная стоимость сооружения, включая стоимости строительства, содержания, ремонта, была бы минимальной.

На уровнях III–VII выполняется назначение и расчет оптимальной конструкции элементов МГВТ (тела трубы, основания и фундамента, оголовков, укрепления русла, регуляционных сооружений, антикоррозионной защиты элементов и т. д.).

Выбор оптимальной конструкции элементов МГВТ производят на основании сравнения возможных и обязательно конкурентоспособных вариантов конструктивных решений и применяемых для их изготовления материалов. Конструктивные решения должны быть технологически целесообразными и исполнимыми при строительстве, текущем содержании в период эксплуатации, при ремонтах и реконструкции МГВТ.

На данных уровнях могут подбираться материалы основных конструктивных элементов, форма поперечного сечения трубы, тип и размер гофра. По результатам расчета в зависимости от характера давления грунта [11] и внешних нагрузок определяется толщина стенки трубы. Причем методы расчета могут быть как аналитические, так и численные с применением различного программного обеспечения конечно-элементного анализа сооружений [12].[3]

При проектировании металлических гофрированных водопропускных труб важным аспектом является учёт факторов окружающей среды, которые могут существенно повлиять на долговечность и надёжность конструкции. Основными из них являются вода и различные вещества находящееся в поверхностных и грунтовых водах (сульфаты, хлориды и т. д.), поскольку они напрямую определяют степень агрессивности среды по отношению к металлическим элементам сооружения [13; 14]. Для обеспечения долговечности металлических гофрированных труб следует применять различные виды антикоррозионных покрытий, подбираемых в зависимости от степени агрессивности окружающей среды (цинкование, битумные мастики, полимерные покрытия) [15].

После выбора конструкции МГВТ должна быть намечена принципиальная схема производства работ по её сооружению.

На уровне VIII «Определение технологии строительства» выполняется подбор оптимального состава технологических операций по строительству МГВТ и подбор парка дорожно-строительной техники и средств механизации.

Решающим условием полноценного использования парка машин является его рациональное комплектование. Оптимизация комплектования машин парка позволяет значительно улучшить его эксплуатацию при меньших затратах и более высоком коэффициенте использования отдельных машин и всего парка в целом.

В зависимости от конструкции основания МГВТ принимают одну из трех технологий устройства трубы.[4]

---

[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.: Росавтодор, 2009. — 200 с.

[4] Александров, А.С. Технология строительства водопропускных труб автомобильных дорог: [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.С. Александров, Т.В. Семенова; Министерство образования и науки РФ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)». Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог». — Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2015. — 127 с. — ISBN 978-5-93204-800-9. — EDN UCISBP.

Особое внимание нужно обратить на один из самых ответственных этапов — обратную засыпку грунтом, поскольку от него напрямую зависит долговечность и работоспособность всей конструкции.[5] Следует уделять большое внимание однородности грунта засыпки, одинаковой и симметричной степени его уплотнения над конструкцией для исключения проявления несимметричного характера деформирования и потери устойчивости конструкций [16].

Кроме того, на данном уровне следует прорабатывать вопросы применения инновационных технологий, которые повышают качество строительства. К ним могут относиться современные средства мониторинга и контроля строительных работ [17–19].

На уровне IX «Оптимизация проектных решений» выполняется анализ проектных решений по определению оптимальных проектных и конструктивных МГВТ на соответствие нормативной документации.

При анализе и синтезе конструктивного и материального исполнения всех элементов объекта рассмотрению подлежат следующие группы признаков элементов объекта:

- особенности материального и конструктивного исполнения элементов;
- способы и средства конструктивных связей элементов между собой

В случае определения на предшествующих уровнях (II–VII уровнях) признаков выбора неоптимальных проектных или конструктивных решений необходимо выполнить пересмотр результатов ТЭО на этапе формирования вариативности элементов МГВТ с повторной оценкой принципа действия и параметров материального н конструктивного исполнения. Поиск оптимальных решений выполняется до момента достижения минимума материалоемкости и трудоемкости, необходимого для обеспечения заданным в проектной документации транспортно-эксплуатационным характеристикам мостового сооружения.

4. Инструменты и программные средства

Реализация мультиуровневого проектирования невозможна без использования современного программного обеспечения.

Использование специализированного программного обеспечения (ПО) для проектирования водопропускных труб значительно упрощает процесс расчётов, моделирования и анализа. Современное ПО позволяет оптимизировать параметры труб, минимизировать ошибки и ускорить подготовку проектной документации. Выбор программы зависит от решаемых задач и этапа проектирования: гидравлические расчеты, расчеты конструкций, конструирование или комплексное проектирование. Среди отечественных программных комплексов можно выделить решения для автоматизированного проектирования водопропускных труб, в том числе и металлических гофрированных, от разработчиков «ИндорСофт», «Кредо-Диалог», НПФ «Топоматик» [20; 21].[6]

---

[5] Технология строительства металлических гофрированных водопропускных труб / Подвальный Р.Е., Потапов А.С., Янковский О.А. М.: Транспорт, 1978 — 78 с.

[6] IndorCulvert: Система проектирования водопропускных труб // ИндорСофт URL: https://indorsoft.ru/products/culvert/ (дата обращения: 01.06.2025).

Программная система ТИМ КРЕДО ТРУБЫ // Кредо-Диалог URL: https://credo-dialogue.ru/produkty/tim-kredo-truby.html (дата обращения: 01.06.2025).

Топоматик Robur — Искусственные сооружения // Топоматик URL: https://topomatic.ru/products/culverts/ (дата обращения: 01.06.2025).

5. Перспективы развития

Перспективным направлением является интеграция технологии информационного моделирования (ТИМ) в процесс проектирования МГВТ, как транспортного сооружения [22]. Это позволит создать цифровую модель трубы, объединяющую данные со всех уровней, что повысит точность проектирования, упростит эксплуатацию и ремонт.

Также перспективно применение искусственного интеллекта и машинного обучения для предсказания поведения конструкции в различных условиях и автоматической оптимизации параметров.

Заключение

Декомпозиционное мультиуровневое проектирование является эффективным подходом к созданию надежных и экономичных металлических гофрированных водопропускных труб. Оно обеспечивает гибкость, позволяя адаптировать проект под конкретные условия эксплуатации и строительства. Подход является комплексным, поскольку учитывает все факторы, влияющие на работу конструкции, включая нагрузки, окружающую среду и технологические особенности. Благодаря возможности оптимизации на каждом уровне проектирования достигается экономия ресурсов — снижаются затраты на материалы, строительно-монтажные работы и дальнейшее обслуживание. Использование данного метода способствует повышению качества проектирования, увеличению срока службы сооружений и снижению затрат на строительство и эксплуатацию.

Мультиуровневое проектирование металлических гофрированных водопропускных труб является ключевым фактором успешного строительства и долговременной эксплуатации таких сооружений. Применение современных методов расчёта, использование компьютерного моделирования и строгий учёт всех инженерных факторов позволяют создавать безопасные, экономически целесообразные и экологически устойчивые объекты транспортной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черников, А.В. Краткий исторический обзор использования гофрированных водопропускных труб и их применение на современном этапе / А.В. Черников, В.А. Козлов — DOI 10.36622/VSTU.2021.30.3.005. // Строительная механика и конструкции. — 2021. — № 3(30). — С. 61–73 — EDN IGAQOI.
2. Кононович, В.И. Ошибки при проектировании и разработке проектов ремонта и усиления транспортных сооружений / В.И. Кононович, И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Техническое регулирование в транспортном строительстве. — 2021. — № 2(47). — С. 80–93. — EDN SZCRBX.
3. Илясов, А.В. Оценка состояния водопропускных металлических гофрированных труб / А.В. Илясов, С.В. Алексиков // Инженерный вестник Дона. — 2024. — № 9(117). — С. 112–128. — EDNNIKMOD.
4. Об опыте эксплуатации дорожных водопропускных труб из гофрированного стального листа на транспортных магистралях в московском регионе / Т.А. Суэтина, А.В. Бурлаченко, О.Н. Черных [и др.] — DOI 10.22337/9785432302663-456-462. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: Сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. Том 2. — Москва: Издательство АСВ, 2018. — С. 456–462 — EDNTFFWKH.

5. Ярмолинский, А.И. Анализ состояния водопропускных сооружений на автомобильных дорогах юга дальнего востока / А.И. Ярмолинский, В.С. Светенок // Вестник Тихоокеанского государственного университета. — 2017. — № 4(47). — С. 51–56. — EDNYPJGIT.

6. Черных, О.Н. Заиление трубчатых водопропускных сооружений из гофрированного металла / О.Н. Черных, Н.В. Ханов, А.В. Бурлаченко — DOI 10.26897/1997-6011/2018-1-38-45. // Природообустройство. — 2018. — № 1. — С. 38–45 — EDNYUKEWW.

7. Shupe, J.A. Compromise: An effective approach for the hierarchical design of structural systems / J.A. Shupe, F. Mistree, J. Sobieszanski-Sobieski — DOI: 10.1016/0045-7949(87)90119-2 // Computers & Structures. — 1987. — Т. 26, № 6. — С. 1027–1037.

8. Beernaert, T.F. Multi-level Decomposed Systems Design: Converting a Requirement Specification into an Optimization Problem / T.F. Beernaert, L.F.P. Etman // Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design. — 2019. — Т. 1, № 1. — С. 3691–3700. — URL: https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-international-conference-on-engineering-design/article/multilevel-decomposed-systems-design-converting-a-requirement-specification-into-an-optimization-problem/71D2527D8AE0B8C37DD6A7BD9F36E1FC (дата обращения: 15.06.2025).

9. Sakalkar, V. Multilevel decomposition based nondeterministic design optimization for structural systems / V. Sakalkar, P. Hajela // Advances in Engineering Software. — 2011. — Т. 42, № 1-2. — С. 1–11. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965997810001225 (дата обращения: 15.06.2025).

10. Алешечкина, И С. К вопросу выбора оптимальных проектных решений мостов при мультиуровневом проектировании / И.С. Алешечкина // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 24–29 апреля 2023 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. — Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. — С. 16–18. — EDN HAQXXJ.

11. Пермикин, А.С. Анализ отечественных и зарубежных нормативных методов определения давления грунта на водопропускные трубы / А.С. Пермикин, К.Ю. Астанков, И.Г. Овчинников — DOI 10.15593/24111678/2024.01.03. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2024. — № 1. — С. 26–41 — EDN CLJREC.

12. Цыбин, Д.Ю. Анализ методов расчета водопропускных труб как методов обеспечения надежности на стадии проектирования / Д.Ю. Цыбин, Н.А. Ермошин — DOI 10.17816/transsyst634982. // Инновационные транспортные системы и технологии. — 2024. — Т. 10, № 3. — С. 320–337 — EDN LCOOXU

13. Овчинникова, Т.С. Коррозия мостовых конструкций и способы их защиты / Т.С. Овчинникова, А.Н. Маринин // Транспортное пространство России и Евразийского экономического союза в XXI веке: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения первого Министра автомобильных дорог РСФСР А.А. Николаева, Сочи, 28–29 мая 2014 года. — Сочи: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «КУБиК», 2014. — С. 71–73. — EDN ITBBLP.

14. Середина, О.С. Проблема расчета железобетонных водопропускных труб с учетом различных агрессивных воздействий окружающей среды и прогнозирование их долговечности / О.С. Середина, А.Н. Маринин // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области, Волгоград, 06–10 сентября 2010 года. — Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. — С. 521–526. — EDN RUGBXR.

15. Болдинова, С.Д. Защита металлических гофротруб при обустройстве водопропускных сооружений автодорог / С.Д. Болдинова, А.А. Макаева // Шаг в науку. — 2020. — № 4. — С. 25–28. — EDN VSIHMY.

16. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 2. Обзор отечественных экспериментальных исследований. Сопоставление результатов эксперимента с результатами расчетов по разным методикам / В.С. Беляев, Л.С. Яковлев, И.Г. Овчинников, И.А. Осокин // Интернет-журнал Науковедение. — 2013. — № 6(19). — С. 129. — EDN SAKRJZ.

17. Звездин, Д.А. Анализ применения электронных баз данных для повышения качества мониторинга и контроля в строительстве / Д.А. Звездин, А.Н. Маринин // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16, № 3. — С. 55. — EDN NZIHKX.

18. Звездин, Д.А. Использование цифровых технологий для эффективного мониторинга и контроля в строительстве / Д.А. Звездин // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России: материалы XVIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 22–24 мая 2024 года. — Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2024. — С. 127–132. — EDN DKPCQZ.

19. Сластин, С.В. Система мониторинга работ при строительстве мостов с использованием инновационных технологий / С.В. Сластин, А.Н. Маринин // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2023: Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. — Москва: Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), 2024. — С. 719–724. — EDN NXDNNX.

20. Волкова, Е.В. Конструирование и расчет водопропускных сооружений на автомобильных дорогах с использованием Комплекса ГРИС программы CREDO III / Е.В. Волкова, А.И. Солоненко // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2014. — № 6(11). — С. 54–61. — EDN THNUEL.

21. Федотов, Н.Г. Обзор программных продуктов для проектирования водопропускных труб / Н.Г. Федотов, И.В. Кривых — DOI 10.17273/CADGIS.2015.2.13. // САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2015. — № 2(5). — С. 86–93 — EDN ULNWTJ.

22. Маринин, А.Н. Проблемы использования технологии BIM в мостостроении / А.Н. Маринин // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". — 2020. — № 8. — С. 711–718. — EDN TMCBOK.

Zarovniatnykh Igor Sergeevich
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: igi72@bk.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1300185

Marinin Alexander Nikolaevich
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
E-mail: a-marinin@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1848-730X
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=625628

Features of multi-level decomposition design of metal corrugated culverts

Abstract. Metal corrugated culverts are widely used in road construction due to their durability, cost effectiveness and ease of installation. However, their reliability depends on many factors, including mechanical stress, corrosion processes, installation quality, and operating conditions.

The article presents a systematic approach to the design of metal corrugated culverts using a multi-level decomposition method that allows taking into account a wide range of technical, technological and environmental factors. The main causes of damage to metal corrugated culverts are considered — corrosion, deformations due to poor-quality filling, blockages, violations of installation technology and design flaws that can lead to emergencies and destruction of road infrastructure. The proposed methodology of multi-level decomposition design involves the step-by-step division of a complex system into separate subsystems, starting with the choice of location and determination of pipe capacity and ending with the choice of materials, structural solutions, construction technology and corrosion protection. Each level of the project is detailed and optimized independently, but taking into account the interaction with other levels, which provides an integrated approach to design. Economic aspects are also considered: assessment of capital and operating costs, selection of optimal solutions based on the criterion of minimum reduced costs. Special attention is paid to the use of modern software tools for modeling and calculating structures, the prospects for the introduction of information modeling technologies and artificial intelligence into design practice. The purpose of the study is to increase the reliability, durability and economic efficiency of structures through the application of a scientifically based design approach.

Keywords: metal corrugated pipes; decomposition design; decomposition; multilevel analysis; culverts; design algorithm; design level