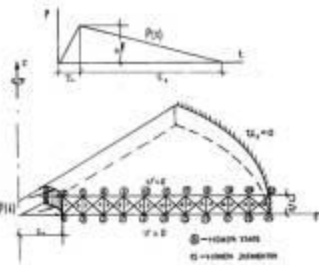
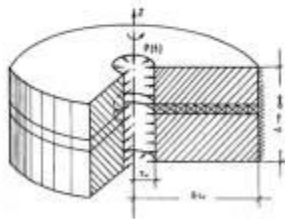


НАУКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

Ежеквартальный научный журнал



$$R_H = A_0 + A_1 * H$$

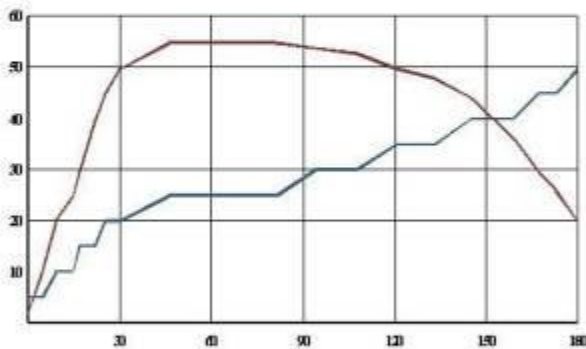


$$d_{Э} / d_{Б}$$

$$R = (R_4 + R_5) / 2 = (27,027 + 27,2) / 2 = 27,11 \text{ МПа}$$

$$R_3 = R_1 - \Delta R^1$$

$$R_4 > R_5 > R_3$$



Разделы номера

Военная
безопасность
стр.4

Комплексная безопасность
строительства и эксплуатации
конструкций, зданий и
сооружений
стр.9

Безопасность инновационной
деятельности
стр.116

Социальная безопасность
стр.127

Именной указатель
стр.132



Содержание

Военная безопасность

Гера В.И., Марченко М.А., Решетников Д.В.

Рекомендации по разработке автоматизированной системы управления безопасностью функционирования технологических систем 4

Комплексная безопасность строительства и эксплуатации конструкций, зданий и сооружений

Волосухин В.А., Бандурин М.А.

Методы неразрушающего контроля при моделировании технического состояния железобетонной облицовки водопроводящих каналов 9

Волосухин В.А., Бандурин М.А.

Вопросы численного моделирования длительно эксплуатируемых мостовых проездов через водопроводящие каналы 17

Грибанов Я.И., Быков А.А., Калугин А.В.

Оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкций покрытия спорткомплекса при запроектных нагрузках 28

Капустян Н.К., Антоновская Г.Н., Басакина И.М., Глотов В.А.

Комплекс инженерно-сейсмометрических методик для оценки состояния зданий и сооружений 40

Котляревский В.А.

Мониторинг прочности магистральных трубопроводов по малому числу планово-высотных отметок 61

Котляревский В.А.

Моделирование сейсмостойкости искривленных подземных магистральных трубопроводов при пластическом деформировании с оценкой упругого ресурса 70

Кришан А.Л.

Предложения по совершенствованию конструкции трубобетонных колонн 77

Кришан А.Л.

Особенности расчета прочности трубобетонных колонн 82

Кулябко В.В.

Динамика сооружений и проявление аспектов науки и безопасности в строительных объектах и процессах 86

Савина А.В., Лисанов М.В., Сумской С.И.

Анализ риска для обоснования минимальных безопасных расстояний от магистральных трубопроводов до населенных пунктов, зданий и сооружений 96

Четверик Н.П.

Строительный контроль и проведение в его рамках мониторинга технического состояния зданий и сооружений, как основа системы комплексной безопасности в строительстве 102

Безопасность инновационной деятельности

Четверик Н.П.

Что такое инновационные проекты в строительстве, наилучшие доступные строительные технологии и наилучшие доступные строительные материалы (ИПС, НДТС и НДСМ)? 109

Четверик Н.П.

Экспресс-метод бальной оценки инновационного проекта 114

Социальная безопасность

Сапронов В.В.

Педагогика и безопасность жизнедеятельности: SOS! 120

Именной указатель

125



Военная безопасность

Рекомендации по разработке автоматизированной системы управления безопасностью функционирования технологических систем

Recommendations for the development automated control system of the space complexes facilities processing safety

УДК 620.19

Гера В.И.

Кандидат технических наук, доцент кафедры Организации эксплуатации и технического обеспечения вооружения военной и специальной техники.

Gera V.I.

Candidate of technical sciences, associate professor of Mozhaisky Military Aerospace Academy.

Марченко М.А.

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Организации эксплуатации и технического обеспечения вооружения военной и специальной техники.

Marchenko M.A.

Candidate of technical sciences, assistant professor of Mozhaisky Military Aerospace Academy.

Решетников Д.В.

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Организации эксплуатации и технического обеспечения вооружения военной и специальной техники.

Reshetnikov D. V.

Candidate of technical sciences, assistant professor of Mozhaisky Military Aerospace Academy.

Аннотация

Приведены рекомендации по разработке автоматизированной системы управления безопасностью функционирования наземного технологического оборудования ракетно-космических комплексов.

Abstract

This paper deal with the recommendation of automated management safety system of ground-based technological equipment space systems development.

Ключевые слова

Безопасность, риск, автоматизированная система, управление, ракетно-космический комплекс, наземное технологическое оборудование.

Keywords

System safety, risk, automated system management, space complex, ground processing equipment.

Под *автоматизированной системой управления безопасностью* (АСУБ) будем понимать организационную специализированную подсистему системы обеспечения безопасности, предназначенную для решения задач мониторинга и анализа безопасности эксплуатации наземного

технологического оборудования (НТО) и осуществления информационной поддержки по управлению безопасностью.

АСУБ может быть автономной или является одной из функциональных подсистем автоматизированной системы управления технологическими процессами. Основной задачей управления АСУБ является обеспечение такой эксплуатации объекта, которая позволила бы минимизировать вероятность возникновения аварии вследствие отказов оборудования и ошибок обслуживающего персонала.

Процесс управления риском предполагает оценку и анализ потенциальных опасностей, а также поиск мер, позволяющих снизить риски до приемлемого уровня. Управление риском может быть реализовано только при выполнении следующих требований:

- наличие подробной информации по пространственному расположению объектов ракетно-космических комплексов (РКК) и взаимосвязях между ними (топология и алгоритм функционирования);
- наличие информации по техническим характеристикам оборудования РКК;
- наличие сведений о потенциально опасных факторах, их влиянии на оборудование и персонал, возможных последствиях их проявления;
- наличие комплекса моделей, позволяющих оценивать влияние опасных факторов на оборудование и персонал, оценивать масштабы возможного ущерба;
- наличие моделей развития опасных ситуаций (аварий) и критериев принятия решений по управлению риском.

Решение задач анализа риска возможно только при использовании специализированных информационных систем, реализующих в себе функции хранения и обработки массивов данных, моделирования и выполнения расчетных задач, представления результатов в наглядной графической форме, выработки советов и рекомендаций лицам, принимающим решения по управлению рисками и ликвидации аварий и т.д. Таким образом, для решения задач управления риском необходимо создание комплекса программного обеспечения (КПО), ориентированного на решение задач информационной поддержки процессов управления рисками при эксплуатации объектов (составных частей) РКК.

КПО должен обеспечивать:

- разработку моделей надежности и безопасности технологических и технических систем (агрегатов) РКК;
- разработку сценариев развития аварий, выбор критериев моделирования и оценки результатов;
- моделирование развития аварий, включая взрывы, пожары, а также комбинированные аварии;
- оценку ущерба при авариях и отказах оборудования, включая человеческие потери, разрушения оборудования, зданий и сооружений;
- оценку различных видов риска, построение полей риска;
- визуальное отображение результатов моделирования и оценки с использованием топографической основы (карты, планы), графиков и диаграмм.

Результаты выполненных расчетов и оценок являются основой для подготовки решений по управлению риском.

Создание АСУБ предполагает реализацию следующих этапов.

1 этап

Анализ объекта (РКК, комплекса РКК) и выявление критичных с точки зрения безопасности его элементов.

Под критичными элементами будет понимать системы, агрегаты (их составляющие части) и этапы функционирования, отказ и/или нарушение технологии выполнения которых может привести:

1) к ущербу, обусловленному несанкционированным высвобождением и распространением потоков энергии аккумулированной в системе, агрегате или составной их части и воздействию её на объекты безопасности (*первая подгруппа критических элементов*);

2) к ущербу, обусловленному невыполнением (несвоевременным выполнением) целей (*вторая подгруппа критических элементов*).

Критичные элементы первой подгруппы выявляются путем проведения анализа в соответствии с алгоритмом, предложенным в работе [1]. Критичные элементы второй подгруппы определяются путем проведения анализа предложенного в работе [2].

2 этап

Классификация критических элементов определенных на 1 этапе по группам контролепригодности.

Первую группу составят элементы, которые могут быть подвержены непрерывному мониторингу технического состояния и оценке предотказного состояния. К ним, как правило, относятся элементы, функционирующие при постоянных нагрузках: сосуды под давлением, мостовые краны, магистрали, здания и сооружения. На них могут быть установлены системы постоянного контроля. Чувствительными элементами таких систем могут быть, например, тензодатчики. Вторую группу составят элементы, которые могут быть подвержены периодическому мониторингу технического состояния и оценке предотказного состояния. К ним, как правило, относятся элементы, параметрический контроль которых возможен только при их функционировании, например: дизель-генераторы, вентиляционные агрегаты, трансформаторы и т.п. Периодический мониторинг технического состояния таких элементов может быть осуществлен применением средств измерений и средств неразрушающего контроля: вибростанций, толщиномеров и т.п. Алгоритм выбора состава комплекса средств неразрушающего контроля представлен на рисунке 1.

Третью группу составят неконтролепригодные элементы. Техническое состояние и оценка предотказного состояния таких элементов будет оцениваться при помощи статистических и/или экспертных моделей. Методы и модели оценки предотказного состояния вышеуказанных групп элементов рассмотрены в работе [2].

3 этап

Формирование структуры и функционального программного обеспечения АСУБ.

Для решения указанных задач в процессе создания АСУБ необходимо обеспечить:

- формирование банков данных по оборудованию объектов;
- формирование банков данных по характеристикам объектов и их составных элементов, моделей надежности и безопасности технологических и технических систем (агрегатов);
- формирование банков знаний, т.е. методик и алгоритмов оценки трансформации, распространения и воздействия аварийно высвободившейся энергии на объекты безопасности;
- создание комплекта электронных схем, включая: зональную схему РКК (составных частей РКК) и прилегающих территорий, компоновочные схемы установок, технологические схемы установок, узлов и блоков;
- расчет и оптимизация показателей риска;
- отображение результатов моделирования с использованием графиков, диаграмм, технологических схем и электронных карт.

АСУБ эксплуатации объектов РКК должна включать следующие функциональные блоки (рис. 2):

- блок *подготовки информации*, обеспечивающий формирование банков данных по оборудованию и персоналу, рисованию структурных и технологических схем установок, узлов и блоков, подготовки электронных карт, планов и компоновочных схем;

- блок разработки моделей, обеспечивающий процесс разработки комплекса моделей надежности оборудования и персонала;
- блок сценариев, позволяющий описывать сценарии происшествий (отказов) и определять критерии моделирования;

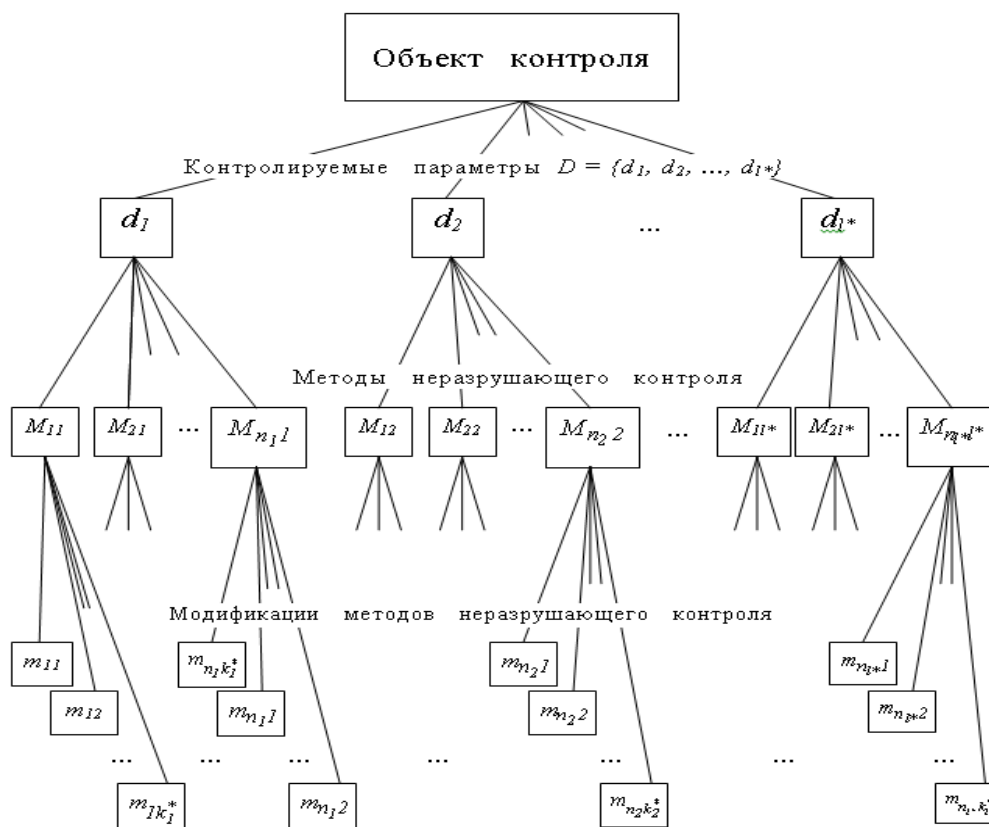


Рисунок 1 – Алгоритм выбора состава комплекса средств неразрушающего контроля

- блок моделирования происшествий;
- блок оценки результатов моделирования, выполняющий анализ последствий происшествий и расчет интегральных показателей надежности и риска;
- расчетный блок, предназначенный для решения задач моделирования надежности и безопасности оборудования;
- интерфейсный блок, предназначенный для подготовки данных необходимых для работы расчетного блока;
- топофункциональный блок, предназначенный для визуального графического отображения информации на топографической основе;
- блок данных, предназначенный для получения информации со средств контроля необходимой для работы системы и её хранение. Основой блока данных является автоматизированный банк данных содержащий сведения об объектах, системах (агрегатах) и персоналу и комплекс средств неразрушающего контроля.

Интерфейсный блок обеспечивает подготовку и передачу в расчетный блок сведений, позволяющих выполнить моделирование для разработанного сценария. Моделирование в расчетном блоке выполняется на основании анализа схем функциональной целостности, разработанных на основании описания технологического процесса (схемы надежности) и систем противоаварийной защиты (схемы безопасности).

На выходе расчетного блока получают следующие результаты:

- вероятности реализации заданного сценария с учетом выбранных критериев оценки;
- значимости или дифференциальные вклады различных узлов (отдельного оборудования, установок и т.п.) при реализации заданного сценария.

Блок моделирования, по заданному сценарию аварии, обеспечивает расчет возможных масштабов аварии (взрыва, пожара), оценку потерь и разрушений объектов с учетом заданных критериев оценки.

Блок оценки выполняет анализ результатов, полученных при работе блока моделирования и расчетного блока, расчет интегральных показателей надежности и риска с учетом заданных сценариев и критериев оценки.

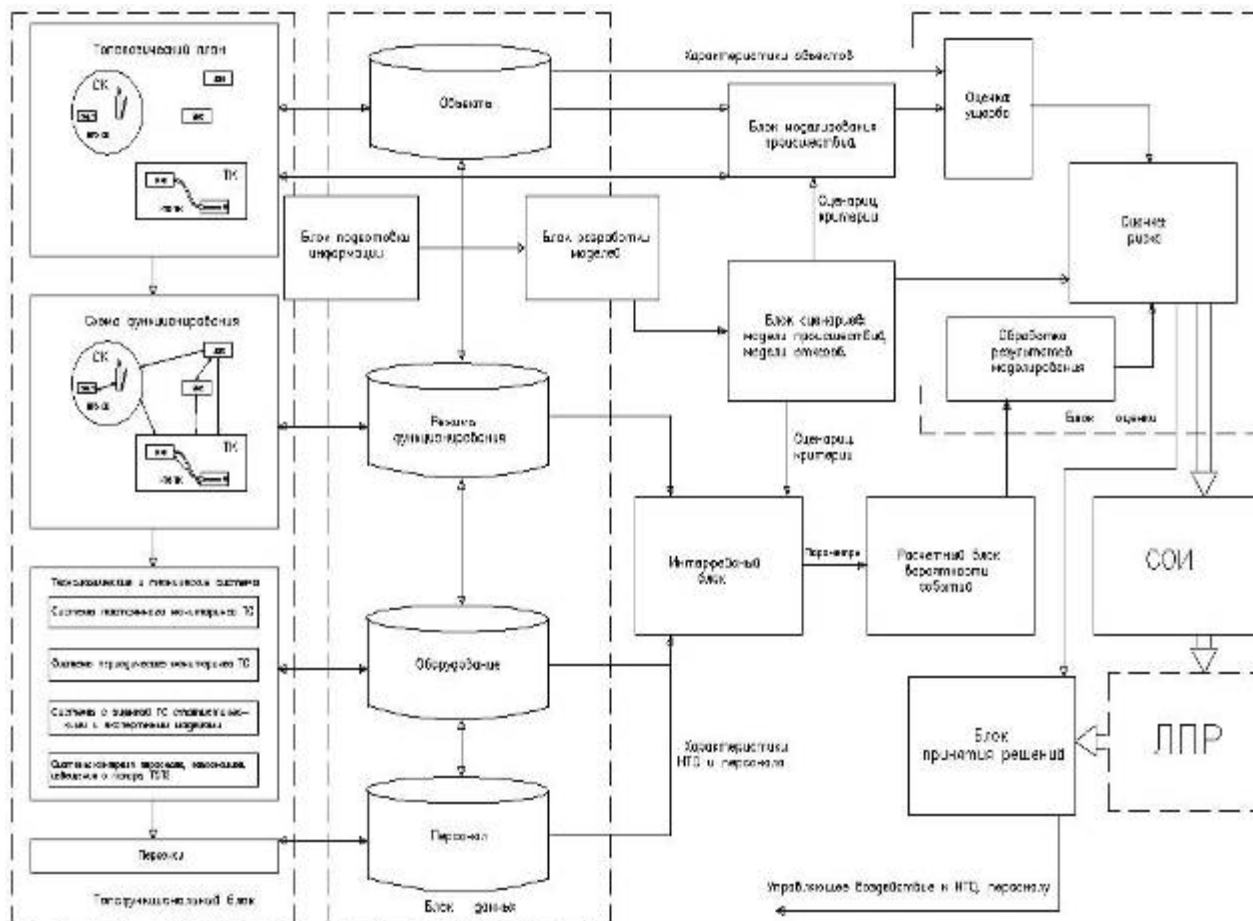


Рисунок 2 – Структура автоматизированной системы управления безопасностью эксплуатации объектов РКК

Обобщенные оценки передаются на *средства отображения информации и блок принятия решений*, которые обеспечивает поддержку принятия решения ЛПР.

Библиография

1. ГОСТ 27.310-95 Анализ видов, последствий и критичности отказов
2. Афанасьев В.Г., Зеленцов В.А., Миронов А.Н. Методы анализа надежности и критичности отказов сложных систем. МО РФ 1992, 99 с.

Комплексная безопасность строительства и эксплуатации конструкций, зданий и сооружений

Методы неразрушающего контроля при моделировании технического состояния железобетонной облицовки водопроводящих каналов Methods of not destroying control over modelling the technical condition of ferro-concrete facing water-spending channels

УДК 626.843.92

Волосухин В.А.

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительная механика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профес-сионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

Volosukhin V.A.

The honored worker of a science of the Russian Federation, Dr. sc. tech., Professor, head of the department "Structural Mechanics", The Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "The No-vocherkassk State land reclamation Academy"

Бандурин М.А.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

Bandurin M.A.

Candidate of Technical Sciences, associate professor "Structural Mechanics", The Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "The No-vocherkassk State land reclamation Academy"

Аннотация

Приводятся результаты эксплуатационного мониторинга длительно эксплуатируемых водопроводящих каналов неразрушающими методами контроля. Особенно отмечается возможность применения приборов неразрушающего контроля при обследовании гидротехнических сооружений, на примере водопроводящих каналов, что позволяет оперативно, без дополнительных повреждений, получать объективную оценку их технического состояния. При использовании данного подхода появляется возможность обоснование параметров дефектов и повреждений, которые невозможно установить при визуальном осмотре. Также представлен программный комплекс для моделирования технического состояния водопроводящих каналов для расчёта прогнозируемого срока их службы.

Abstract

Results of operational monitoring are given is long maintained water carrying out channels nondestructive control methods. Possibility of use of devices of nondestructive control is especially noted at inspection of hydraulic engineering constructions, on an example of water carrying out channels that allows operatively, without additional damages, to receive an objective assessment of their technical condition. When using this approach there is a possibility justification of parameters of defects and damages which it is impossible to establish at visual survey. The program complex for modeling of a technical condition of holding channels for calculation of predicted term of their service is also presented.

Ключевые слова

Гидротехнические сооружения, водопроводящие каналы, неразрушающие методы контроля, эксплуатационный мониторинг, моделирование, техническое состояние.

Keywords

The hydraulic engineering constructions which are water carrying out channels, nondestructive control methods, operational monitoring, modeling, technical condition.

Общей целью проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния водопроводящих каналов являются выявление ухудшения степени физического износа, причин, обуславливающих их состояние, фактической работоспособности элементов и разработка мероприятий по обеспечению их различных эксплуатационных параметров, а также описание технического состояния.

Преобладающими аварийными дефектами являются полное разрушение отдельных элементов водопроводящих каналов, образование дефектов, нарушающих нормальную работу конструкции данного сооружения; нарушение стыковых соединений, а также разрушение зон опирания [1].

В процессе визуального осмотра, прежде всего, следует обращать внимание на внешние признаки элементов водопроводящих каналов, вызывающих наибольшее опасения. На данном этапе обследования имеется возможность классифицировать степень разрушения по внешним признакам элемента сооружения (например, полное разрушение элемента). Для определения фактического состояния сооружения (размеры дефектов, степень потери несущей способности вследствие циклов замораживания и оттаивания).

На долговечность железобетонных элементов водопроводящих каналов существенное влияние оказывают величина защитного слоя бетона и наличие на нём дефектов – раковин, пор, трещин и т.д. Защитный слой предохраняет арматуру от доступа влаги, кислорода, агрессивных веществ и газов. Арматурные стержни, имеющие небольшой защитный слой или значительные дефекты в нём, подвергаются коррозии в первую очередь [2].

С целью установления фактической прочности бетона железобетонных облицовок, они были обследованы методом ударного импульса электронным измерителем прочности бетона. Места измерений были привязаны к георадарным обследованиям для определения прочности бетона в характерных точках профилей.

Обработка результатов зондирования железобетонных облицовок представлена рисунками. Так на рисунках 1 и 2 показан фрагмент георадарного зондирования по оси канала включающий в себя 7 железобетонных облицовок, где произведено обследование участка канала на характерные дефекты и повреждения в результате эксплуатации. На рисунке 1 видны образования раковин и отслоений бетона на 4, 5 и 7 плитах, а также образование трещин на стыке между 4 и 5 плитами.

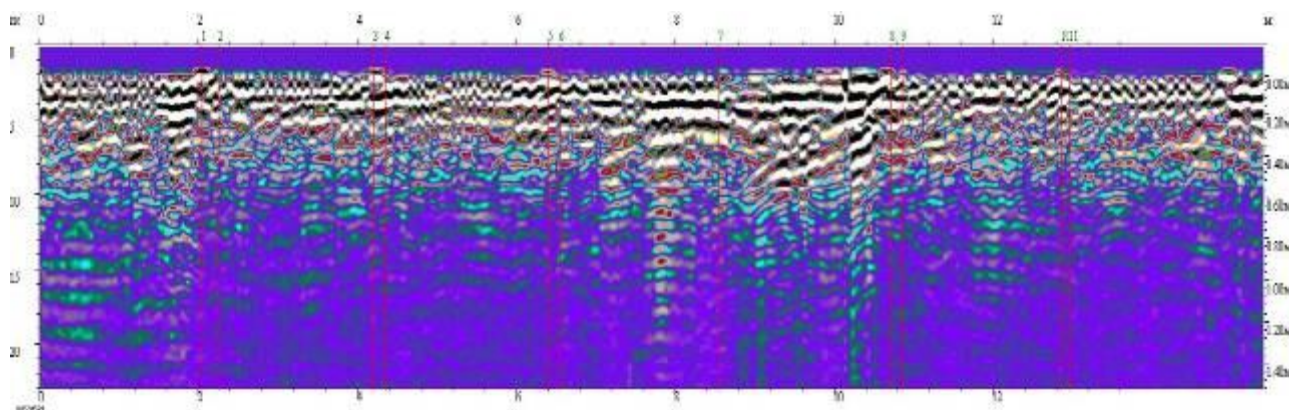


Рисунок 1 - Профиль №1, по оси водопроводящего канала включающий в себя 7 железобетонных облицовок

На рисунке 2 произведено выделение разуплотнения грунта под железобетонной облицовкой №5 и 7, а также проседание основания на стыке между №4 и 5 плитами. Плиты №1, 2, 3 и 6 находятся в удовлетворительном состоянии и могут эксплуатироваться в дальнейшем.

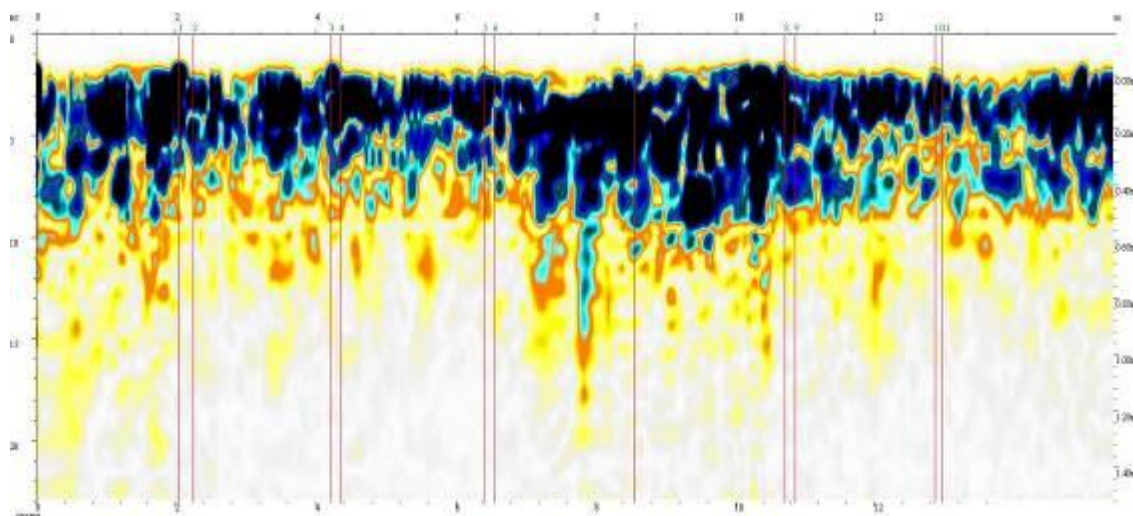


Рисунок 2 - Профиль №1, по оси канала включающий в себя 7 железобетонных облицовок с выделенными пустотами

На рисунке 3 представлен профиль №2 по оси канала включающий в себя 5 железобетонных облицовок и произведено выделение арматуры, где №2 и 4 плита находятся в удовлетворительном состоянии, отчетливо просматривается арматурная сетка нет раковин и трещин в бетоне окружающим её. Плита №3 находится в неудовлетворительном состоянии, произошло разрушение, и разуплотнение защитного слоя бетона образуются раковины и коррозия бетона в местах соприкосновения плиты с основанием.

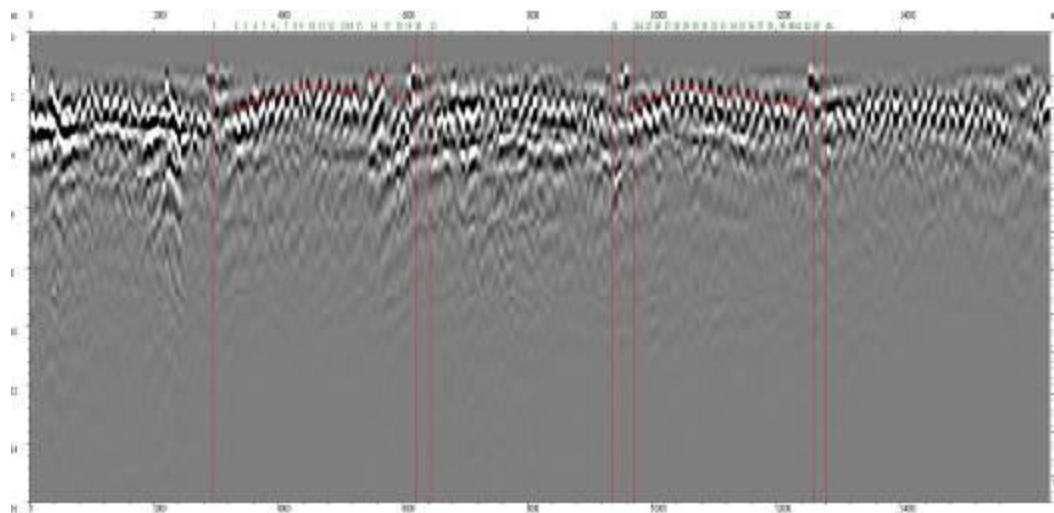


Рисунок 3 - Профиль №2, по оси канала включающий в себя 5 железобетонных облицовок с выделенной арматурой

Для получения полных данных было произведено георадарное зондирование по ширине канала, а именно его стенок как наиболее подверженных разрушению вследствие соприкосновения с водой. На рисунке 4 представлен профиль №3 по ширине канала включающий в себя 4 железобетонные облицовки. Отчётливо видно смещение слоёв диэлектрической проницаемости зондируемой среды по середине профиля, где происходит разрушение защитного слоя бетона как снаружи, так и с места опирания плиты на основании вследствие проникновения воды, а также коррозия арматуры.

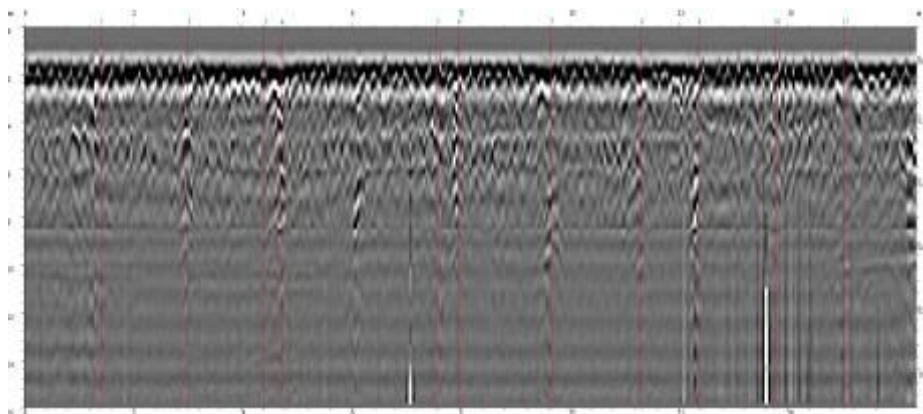


Рисунок 4 - Профиль №3, по ширине канала включающий в себя 4 железобетонные облицовки

На рисунке 5 представлен профиль №4 по ширине канала включающий в себя 5 железобетонные облицовки с выделением арматуры. Плиты №3 и 4 находящиеся в соприкосновении с водой вышли из строя, и требуют немедленной замены. Видны отражения от арматуры, которая смещена и также нарушена арматурная сетка.

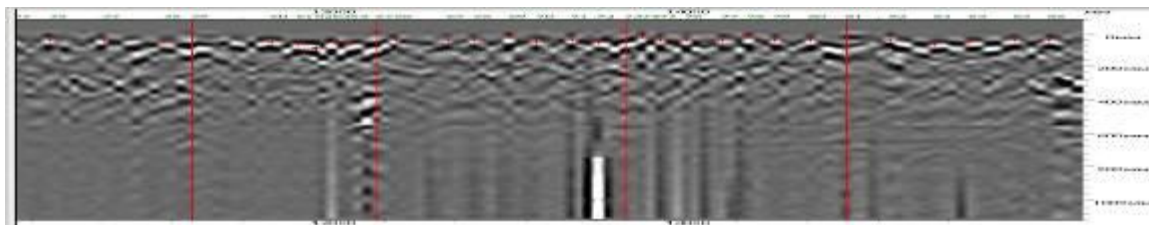


Рисунок 5 - Профиль №4, по ширине канала включающий в себя 5 железобетонные облицовки

Далее на рисунке 6 представлен профиль 5, который проходит по оси канала в месте соприкосновения с водой. Произведено выделение образовавшихся пустот и нарушений стыковых соединений между плитами. Видно, что на стыке между №3 и 4 плитами образовались раковины и происходит коррозия бетона, а плита №6 имеет продольную трещину вследствие просадки основания под ней. Также происходит оголение арматурной сетки и её коррозия.

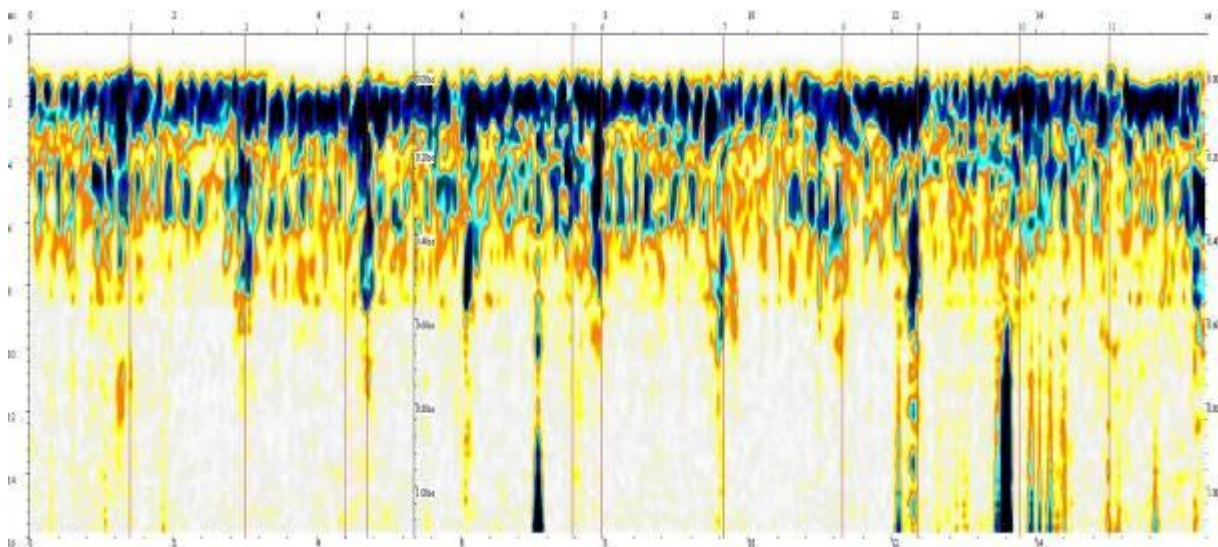


Рисунок 6 – Профиль №5, по оси канала включающий в себя 7 железобетонных облицовок с выделенными пустотами

Оценка технического состояния железобетонных облицовок оросительных систем произведенная неразрушающими методами, показала, что можно выявлять характерные дефекты и повреждения не видные при визуальном осмотре элементов сооружения. Так на примере профиля №4 выявлены плиты находящиеся в неудовлетворительном состоянии - №2 и 3 требуемые немедленной замены, а №1 и 4 находятся в нормальном эксплуатационном состоянии.

Вовремя выявленные дефекты и повреждения способствуют нормальному эксплуатационному процессу сооружения в дальнейшем.

Водостойкость бетона характеризует его способность сопротивляться физико-химическому воздействию воды и зависит от растворимости гидратированных соединений, образующихся при твердении цементного камня. Понятие водостойкости неразрывно связано с водонепроницаемостью материалов и химическим составом омываемых вод.

Характерные загрязняющие вещества в пробах природных вод: медьсодержащие – 2–12 ПДК, фенолы – 1–2,4 ПДК, органические соединения по БПК₅ – 1,2–1,7 ПДК, сульфаты – 2–3 ПДК. Отмечается варьирование концентраций загрязняющих веществ в пределах значений ИЗВ, в основном 3-го класса качества воды, «умеренно загрязнённая». Практически от истока до устья рек качество воды не соответствует установленным нормативам для водных объектов сельскохозяйственного назначения главным образом по таким показателям, как БПК₅, железо общее, медь и нефтепродукты [3].

Бикарбонат накапливается вследствие выщелачивания из природных минералов: известняка, доломита, кальцита, мрамора и т.д. Переходу карбонатов в растворенное состояние способствует углекислый газ. Однако количество HCO_3 в воде недостаточно для равновесной концентрации с CO_2 , поэтому углекислота (свободная) реагирует с компонентами цементного камня с образованием новых CaCO_3 и эта углекислота агрессивна по отношению к стальной арматуре. Наличие хлоридов замедляет процесс связывания сульфат-ионов новообразованиями цементного камня [4, 5].

Выщелачивание для железобетонной облицовки водопроводящих сооружений в большей мере опасно с точки зрения ослабления связи в контактной зоне между цементным камнем и зёрнами заполнителя. Это может привести к интенсивности процесса коррозии бетона от истирания наносами, переменного замораживания и оттаивания, механического воздействия водного потока и т.д., а уже потом потери несущей способности от снижения прочности бетона [6].

Благоприятное влияние на снижение интенсивности процесса выщелачивания и коррозии бетона железобетонных элементов водопроводящих сооружений следующие факторы:

- высокая плотность бетона облицовки водопроводящих каналов с высокой водонепроницаемостью;

- использование в водостойких портландцементов при изготовлении железобетонных элементов водопроводящих каналов позволило получить при гидратации цемента соединения менее растворимые в воде и снизить равновесную концентрацию извести в цементном камне;

- периодическое (сезонное) заполнение оросительных систем водой в теплое время года и взаимодействие углекислоты воздуха с гидроксидом кальция цементного камня (процесс карбонизации бетона) способствовало образованию более устойчивого, менее химически активного и менее растворимого, чем гидроксид кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) соединения – углекислого кальция (CaCO_3). К тому же при переходе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 уплотняется поверхностный слой бетона за счёт увеличения объёма на 11 % [7];

- содержащиеся в воде большие количества мельчайших взвешенных и коллоидных частиц, в том числе и органических, постепенно проникают с водой в глубь бетона, откладываются там, коагулируют поры и уплотняют структуру бетона.

Железобетонные водопроводящие сооружения более всего страдают от выщелачивания. Относительно высокий коэффициент фильтрации, высокая пористость и давление потока определили фильтрацию воды через бетон. Характерным для них является то, что фильтрационный поток может

быть при наполнении оросительной системы водой и при отсутствии воды в ней, а так же наблюдается поднятие уровня ГВ в результате подпития атмосферными осадками.

Для расчёта времени безопасного выщелачивания извести при фильтрации воды через бетон облицовки проведены исследования условий фильтрации, определены толщина конструкции и коэффициент фильтрации бетона облицовки.

Допустимый процент выщелачивания извести принимаем равным 25 %, тогда как для большинства гидротехнических сооружений находящихся в напряженно-деформативном состоянии и прочность является основным параметром несущей способности, процент выщелачивания извести принимают 10 % [8, 9].

$$q_{изв} = KЦ\alpha; \quad (1)$$

где K – допустимый процент выщелачивания извести ($K = 0,2$);

$Ц$ – содержание цемента, г/см³ (принимаем $Ц = 0,3$);

α – содержание СаО в цементе (принимаем $\alpha = 0,63$).

Допустимое количество извести, которое может быть растворено и вынесено из бетона в расчете на единицу объема (1 см³), равно:

$$q_{изв} = 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,63 = 0,0378 \text{ г/см}^3 \quad (2)$$

В силу относительно невысокой средней плотности бетона дна канала ($\rho_0 = 2083 \text{ кг/м}^3$) и предположительно более высокого для тяжелого бетона коэффициента фильтрации выщелачивание идёт постепенно при неполном насыщении фильтрующейся воды гидроксидом кальция. Средняя концентрация извести в фильтрационной воде $C_{изв}$, составила $C_{изв} = 0,93 \dots 1,06 \text{ г/л}$, или $0,00093 \dots 0,00106 \text{ г/см}^3$. В этих условиях не достигается концентрация насыщенного раствора ($C_{изв} = 1,2 \text{ г/л}$, или $0,0012 \text{ г/см}^3$). Это говорит о том, что уже некоторое количество СаО растворено и вынесено, интенсивность процесса выщелачивания снижается. Средняя концентрация гидроксида кальция в оросительной воде около $0,08 \text{ г/л}$, или $0,00008 \text{ г/см}^3$ и это тоже в определенной степени снижает процесс растворения и выноса извести. Для расчёта принимаем $C_{изв}$ в среднем за оросительный период равным $0,9 \text{ г/л}$, или $0,0009 \text{ г/см}^3$ [10].

Определен коэффициент фильтрации бетона монолитных облицовок водопроводящих каналов. По опытным данным получено среднее значение коэффициента фильтрации $K_\phi = 5 \cdot 10^{-9} \text{ см/с}$.

Количество воды фильтрующейся в единицу времени через единицу объема бетона (объемная скорость воды) $V_{об}$, см³/(см³·с) определяем как:

$$V_{об} = K_\phi \cdot \Delta H, \quad (3)$$

где, $\Delta H = H/L$ – градиент напора; H – напор; L – толщина облицовки.

$$\Delta H = 1 / 0,12 = 8,33.$$

$$\text{Тогда } V_{об} = 5 \cdot 10^{-9} \cdot 8,33 = 4,1 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{см}^3 \cdot \text{с}).$$

Продолжительность фильтрации воды равная безопасному сроку службы сооружения начиная с момента обследования сооружения

$$\tau = \frac{q_{изв}}{V_{об} C_{изв}} = \frac{0,0378}{4,1 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0009} = 10,1 \cdot 10^8 \text{ с}, \quad (4)$$

Водостойкость бетона также оценивается снижением прочности при водонасыщении. При этом водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения, выражающим отношение прочности водонасыщенного бетона к прочности сухого. Данные исследования не проводились, так как снижение прочности бетона не существенно и не повлияет на несущую способность конструкции канала [11].

В результате испытаний была получена эмпирическая зависимость динамики разрушения железобетона водопроводящих каналов от количества циклов замораживания и оттаивания.

Полученная эмпирическая зависимость позволяет рассчитать поведение дефектов и повреждений водопроводящих сооружений под дальнейшим воздействием циклического замораживания и оттаивания.

$$P = -aC^2 + bC - c; \quad (5)$$

где P – потери несущей способности, %;

C – циклы замораживания и оттаивания;

$a = 0,026$; $c = 0,437$; $b = 0,146$; $R^2 = 0,97$.

Проведено моделирование элементов длительно эксплуатируемого водопроводящего канала на предмет образования и развития дефектов за время эксплуатации (рисунок 7).

На основании полученных данных сделан обобщенный анализ результатов исследований состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений на фильтрационные процессы, циклическое замораживание и оттаивание. На основании зависимостей циклов замораживания и оттаивания от потери прочностных характеристик и фильтрации воды строилось математическое обеспечение программного комплекса [12].

Программный комплекс моделирования технического состояния водопроводящих сооружений предназначен для расчёта прогнозируемого срока их службы. С его помощью можно произвести прогнозирование суммарного количества циклов замораживания и оттаивания как прошедших за период эксплуатации, так и оставшихся до потери несущей способности железобетона. В среде комплекса предусмотрена возможность выполнить расчёт объёмов разрушений бетона.

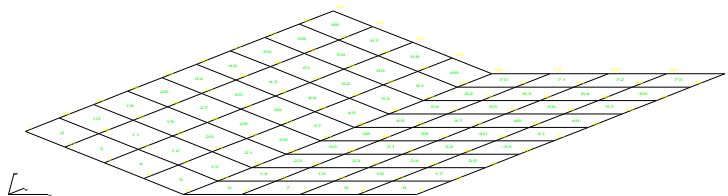


Рисунок 7 – Моделирование технического состояния железобетонной облицовки водопроводящего канала

В качестве исходных данных для создания программного комплекса моделирования использованы результаты проведенных визуальных наблюдений и натурных исследований.

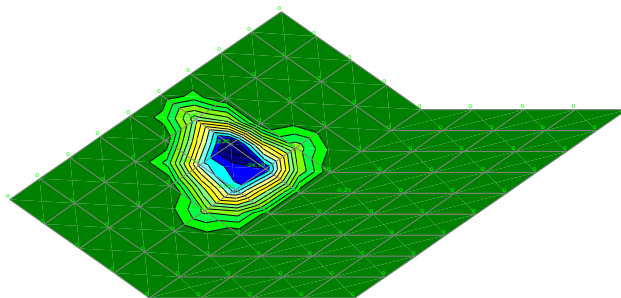


Рисунок 8 – Моделирование просадки железобетонной облицовки водопроводящего канала вследствие образования разуплотнения подстилающего грунта из-за фильтрации воды

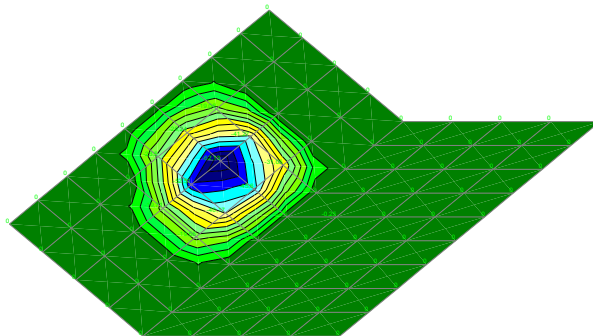


Рисунок 9 – Моделирование просадки и потери устойчивости железобетонной облицовки водопроводящего канала вследствие образования пустот из-за фильтрации воды

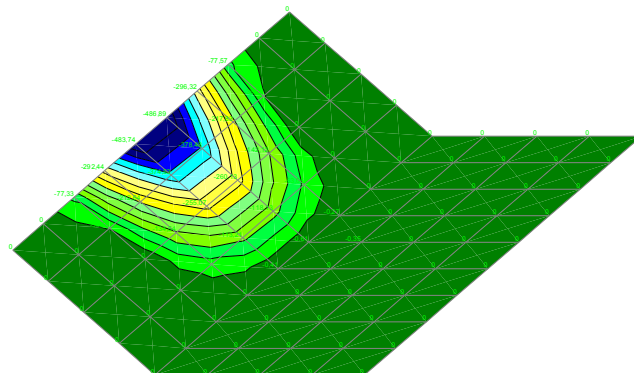


Рисунок 10 – Моделирование сползания железобетонной облицовки водопроводящего канала вследствие образования пустот из-за фильтрации воды

К ним относятся:

- результаты визуального осмотра элементов водопроводящих сооружений с выявлением характерных повреждений;
- геометрические параметры повреждения, полученные с помощью приборов неразрушающего контроля, а именно диаметр зоны повреждения, глубина зоны повреждения;
- данные $R_{сж}$ бетона, полученные по показаниям электронного измерителя прочности бетона.

Для проведения необходимых расчётов моделирования программный комплекс имеет в наличии информационно-справочные данные по элементам водопроводящих сооружений находящихся в эксплуатации [5].

Программный комплекс разработан с использованием системы управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, проект Microsoft Access включающий следующие объекты: таблицы, формы, запросы, макросы и модули [13, 14].

Использование данного программного продукта позволяет для каждого обнаруженного повреждения водопроводящего сооружения произвести оценку и прогнозирование суммарного напряженно-деформированного состояния.

Библиография

1. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Расчёт и эксплуатационный мониторинг лотковых каналов оросительных систем / Ростов н/Д, 2007. С. 78-148.
2. Федоров, В.М. Водопроводящие сооружения оросительных систем [Текст]: Монография / Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2004. С.137-150.
3. Волосухин В.А., Фролов Д.И. и др. Сборник нормативно-методических документов, применяемых при декларировании безопасности гидротехнических сооружений. В 10 т. / Под общ. ред. В.А. Волосухина / Академия безопасности ГТС – Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2011. Том 1. С. 385 – 397.
4. Созаев, А.А. Подход к оценке уровня надежности облицованных каналов. // Проблемы мелиорации земель и воспроизводства почвенного плодородия: тез. Всерос. конф. / КубГАУ. – Краснодар, 2008. – С. 134-136.
5. Бандурин М.А. Обследование состояния оросительных лотковых каналов Азовской оросительной системы неразрушающими методами / [Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета](#). 2006. № 24. С. 72-76.
6. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Особенности применения моделирования аварийных мостовых переходов через водопроводящие каналы при проведении эксплуатационного мониторинга / [Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки](#). 2012. № 5. С. 82-86.

7. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. - 2005.-прилож. № 1 С. 141-147.
8. Бандурин М.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 24. С. 76-81.
9. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / Инженерный вестник Дона 2012 № 2.
10. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений / Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 3. С. 88-93.
11. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Вопросы моделирования технического состояния водопроводящих каналов при проведении эксплуатационного мониторинга / Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 1. С. 70-74.
12. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов Обводнительно- оросительных систем / Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 2. С. 102-106.
13. Бандурин, М.А. К вопросу о состоянии железобетона лотковых каналов Азовской оросительной системы / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 24. С. 82-86.
14. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Шестаков А.В. Патент на изобретение «Устройство для диагностики и прогнозирования технического состояния лотковых каналов оросительных систем» № 2364681. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 20 августа 2009г

Вопросы численного моделирования длительно эксплуатируемых мостовых проездов через водопроводящие каналы
Questions of numerical modeling it is long maintained bridge moving via water carrying out channels

УДК 626.843

Волосухин В.А.

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительная механика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профес-сионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

Volosukhin V.A.

The honored worker of a science of the Russian Federation, Dr. sc. tech., Professor, head of the department "Structural Mechanics", The Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "The No-vocherkassk State land reclamation Academy"

Бандурин М.А.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

Bandurin M.A.

Candidate of Technical Sciences, associate professor "Structural Mechanics", The Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "The No-vocherkassk State land reclamation Academy"

Аннотация

Приводятся результаты моделирования технического состояния длительно эксплуатируемых мостовых переездов через водопроводящие каналы. В результате эксперимента была построена твердотельная модель несущих элементов мостового переезда через водопроводящие каналы. Рассмотрено напряжённо – деформированное состояние железобетонных несущих элементов при различных сочетаниях нагрузок. В результате проведенных численных экспериментов были выделены зоны образования дефектов и повреждений на несущих элементах мостовых переездов через водопроводящие каналы, которые могут содержать однотипные виды характерных повреждений, что позволяет упорядочить процесс прокладывания профилей георадарного зондирования и определения точек, в которых необходимо производить измерения прочности бетона при проведении натурных обследований. В связи с этим произведено моделирование дефектов на колонне в виде образования пустот и разуплотнений железобетона с размерами диаметром от 50 мм до 100 мм. Установлен интенсивный порог опасности, начиная с диаметра 100 мм образования пустот и разуплотнений железобетона.

Abstract

Results of modeling of a technical condition are given is long maintained bridge moving via water carrying out channels. As a result of experiment the solid-state model of bearing elements of bridge moving via water carrying out channels was constructed. It is considered tensely – the deformed condition of ferro-concrete bearing elements at various combinations of loadings. As a result of the carried-out numerical experiments zones of formation of defects and damages on bearing elements of bridge moving via water carrying out channels which can contain the same types of characteristic damages that allows to order process of making of profiles of georadar sounding and definition of points in which it is necessary to make measurements of durability of concrete at carrying out natural inspections were allocated. In this regard modeling of defects on a column in a look formation of emptiness and reinforced concrete razuplotneniye with the sizes in diameter from 50 mm to 100 mm is made. The intensive threshold of danger, since diameter of 100 mm of formation of emptiness and reinforced concrete razuplotneniye is established.

Ключевые слова

Гидротехнические сооружения, водопроводящие каналы, мостовые переезды, эксплуатационный мониторинг, моделирование, техническое состояние.

Keywords

The hydraulic engineering constructions which are water carrying out channels, bridge moving, operational monitoring, modeling, technical condition.

В настоящее время многие из оросительных систем России, построенных в 1950–1970 годы, находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют скорейшей реконструкции или ремонта. В первую очередь, это касается водопроводящих сетей, протяжённость которых измеряется тысячами километров. Только на Северном Кавказе протяжённость таких сетей достигает 80 тыс. км. В Ростовской области около 70 % каналов водоподводящих и водораспределительных сетей находятся в земляных руслах, в остальных регионах Северного Кавказа, за исключением Ставропольского и Краснодарского краёв, протяжённость их ещё более значительна [1].

Обследования водопроводящих сооружений субъектов РФ показали, что в ряде случаев их эффективность, эксплуатационные качества и надёжность оказываются недостаточными, что связано это с нарушениями нормального выполнения функции водообеспечения системами, отказами в их работе. Наиболее частыми являются дефекты внутреннего характера, приводящие к нарушению нормального функционирования водопроводящих сооружений [2].

Мостовой переход является составной частью автомобильной дороги и представляет собой комплекс сложных и дорогостоящих сооружений. Мостовой переход нужно рассматривать не только как транспортное, но и как гидротехническое сооружение, а, следовательно, размеры и форма мостового перехода в значительной степени обосновываются гидрологическими, гидравлическими и русловыми расчётами (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид мостового перехода через Право-Егорлыкский канал

При проектировании мостового перехода необходимо решать одновременно следующие задачи (рисунок 2):

- 1) создать оптимальные условия для перевозки грузов и пассажиров автомобильным транспортом;
- 2) обеспечить возможность надежной работы мостового перехода в течение длительного срока его службы в условиях непостоянства речного стока, природных русловых деформаций, нарушения мостовым переходом естественного режима реки;
- 3) получить экономически обоснованное проектное решение, которому соответствует минимальная величина строительных и эксплуатационных затрат;
- 4) свести до минимума неблагоприятное воздействие на окружающую среду.



Рисунок 2 – Нормальное эксплуатационное состояние мостового перехода

Преобладающими аварийными дефектами являются полное разрушение, образование дефектов, нарушающих нормальную работу конструкции; нарушение стыковых соединений, а также разрушение зон опирания, замковой части. Опасными дефектами, вызывающими ухудшение эксплуатационных свойств в элементах конструкции, становятся образующиеся трещины, размеры которых превышают предельно допустимые значения, установленные СНиПом [3], отслоение защитного слоя бетона, коррозия бетона арматуры в виде высолов и ржавых потеков (рисунок 3) [4].

Можно сделать вывод, что нарушения стыковых соединений сборных элементов, разрывы и проломы стенок в различных зонах, трещины, сдвигка и просадка элементов относительно друг друга приводят к нарушению нормальной работы мостовых переездов. Отсюда возникают такие проблемы, как потеря дефицитной поливной воды, подъем уровня грунтовых вод, заболачивание и засоление орошаемых земель. Решение данных проблем должно быть основано на обязательном учете требований надежности при проектировании, строительстве и эксплуатации.



Рисунок 3 – Разрушение несущих элементов мостового переезда



Рисунок 4 – Разрушение несущей колонны

В процессе эксплуатации под воздействием агрессивных факторов внешней среды происходит изменение свойств конструкций водопроводящих сооружений. Несвоевременно выявленные и устраненные дефекты нередко перерастают в серьезные конструктивные нарушения. Моделировать техническое состояние мостовых переездов предлагается с применением программного комплекса SCAD в сочетании с исследованием технического состояния их конструкции по внешним признакам [5].

В результате эксперимента была построена твердотельная модель несущих элементов мостового переезда через водопроводящие каналы (рисунок 5). Рассмотрено напряжённо – деформированное состояние железобетонных несущих элементов при различных сочетаниях нагрузок.

Число элементов и число узлов ансамбля соответственно составило 479021 и 32901. Кодирование исходной информации осуществлялось в терминах метода приращений с учётом фрагментального представления несущих элементов мостового переезда в виде объектов простой геометрической формы выполненных из железобетона марки В 45 [6].

В постановке численного расчёта несущих элементов мостового переезда через водопроводящие каналы без образования дефектов преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели напряжённо – деформированного состояния.

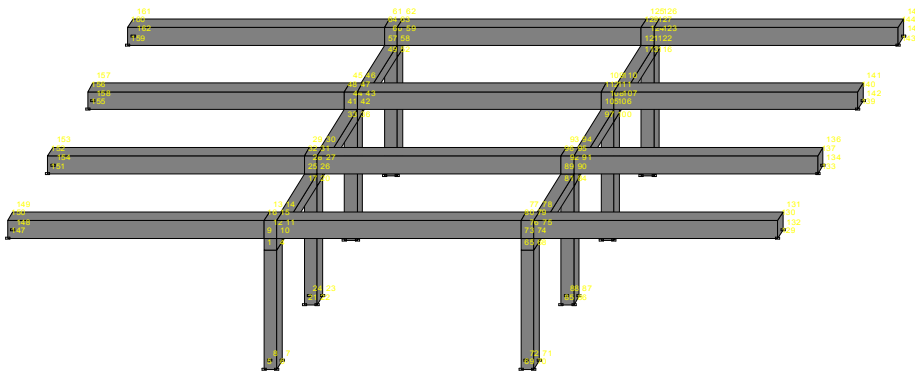


Рисунок 5 – Конечно – элементная модель несущих элементов мостового переезда через водопроводящие каналы

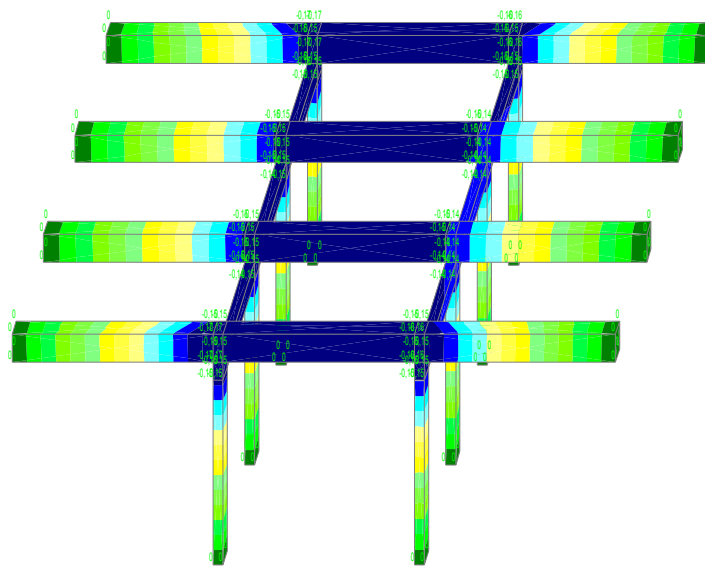


Рисунок 6 – Эпюра перемещений по вертикали несущих элементов мостового переезда

При проведении натурного эксперимента наибольшие значения нормальных напряжений при полном нагружении составили $102,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, в численном расчёте моделировании – $98,7 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, что составляет разницу менее 7 % и подчеркивает адекватность твердотельной модели напряжённо – деформированного состояния [7].

Сравнения эпюр перемещений несущих элементов мостового переезда через водопроводящие каналы, как по вертикали, по горизонтали вдоль и поперёк несущих элементов выявило незначительные внутренние изменения. Наиболее интересна эпюра перемещений по вертикали

(рисунок 6), на которой показано изменение положения горизонтальных элементов, вследствие приложенных нагрузок, а также смещение оголовков колонн. Данные результаты свидетельствуют о наличии большого запаса прочности именно горизонтальных элементов.

На других эпюрах показаны незначительные перемещения (рисунки 7 - 9) которые не привели к значительным изменениям, все данные находятся в допустимых границах. Перемещения по горизонтали вдоль несущих элементов (рисунок 8) показывают незначительные смещения зон опирания железобетонных балок, а перемещения по горизонтали поперёк (рисунок 9) несущих элементов показывают смещения крайних колонн и опёртых на них железобетонных балок.

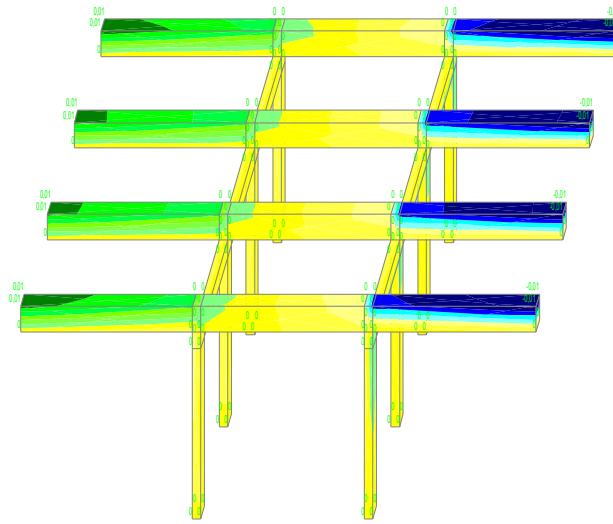


Рисунок 7 – Эпюра перемещений по горизонтали вдоль несущих элементов мостового проезда

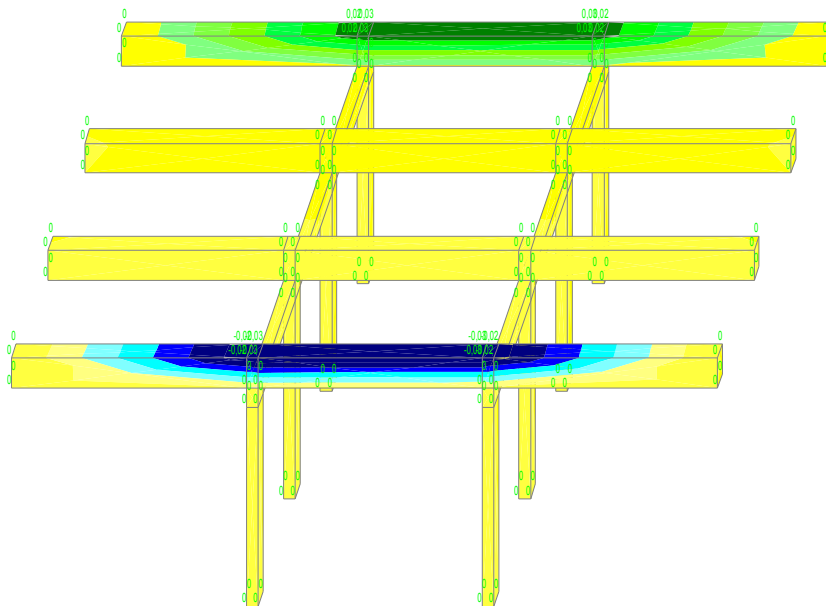


Рисунок 8 – Эпюра перемещений по горизонтали поперёк несущих элементов мостового проезда

Как показали результаты сравнения эпюр эквивалентного напряжения von Mises (рисунки 9 - 11) наибольшие напряжения возникают по вертикали несущих элементов мостового проезда (рисунок 9), а именно на крайних колоннах и горизонтальных балках опёртых на них. Данные

результаты свидетельствуют о возникновении критических напряжений в крайних колоннах, на четверть больше чем в других колоннах мостового переезда.

Эпюры эквивалентного напряжения von Mises по горизонтали вдоль и поперёк несущих элементов мостового переезда (рисунки 10 - 11) показывают также наибольшие напряжения возникающие в зоне опирания колонны на фундамент, вызванные деформациями несущих элементов. Присутствуют также напряжения в горизонтальных железобетонных элементах.

Проведенное моделирование убедило в наличии существенного запаса прочности несущих железобетонных элементов мостового переезда.

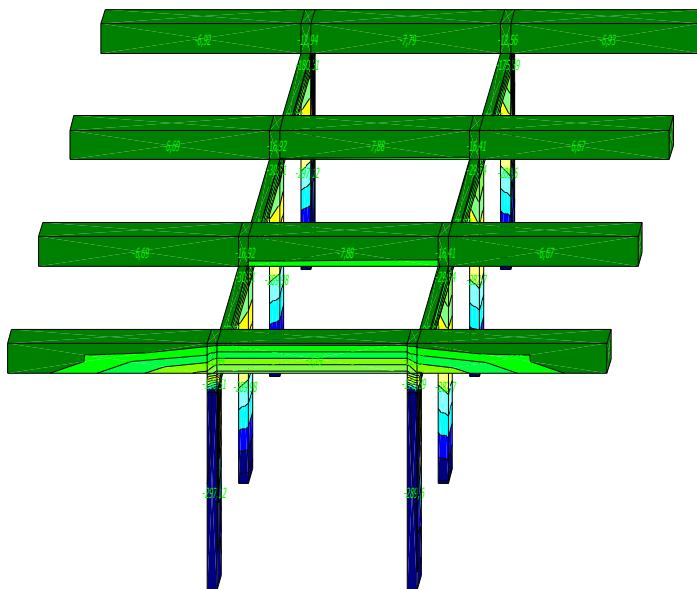


Рисунок 9 – Эпюра эквивалентного напряжения von Mises по вертикали несущих элементов мостового переезда

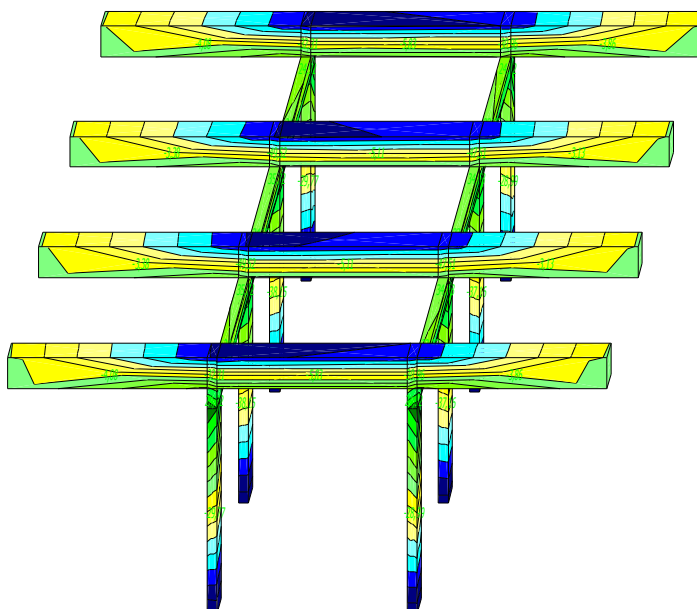


Рисунок 10 – Эпюра эквивалентного напряжения von Mises по горизонтали вдоль несущих элементов мостового переезда

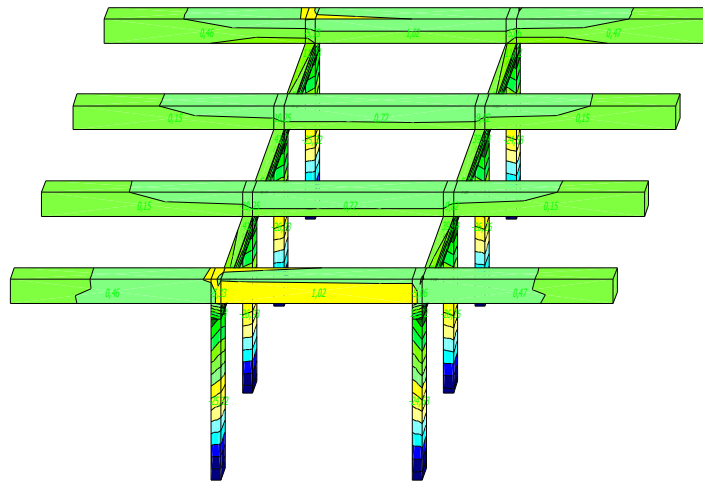


Рисунок 11 – Эпюра эквивалентного напряжения von Mises по горизонтали поперек несущих элементов мостового переезда

На втором этапе было произведено моделирование несущих элементов мостового переезда с образованием дефектов и повреждений, а именно образование зон разрушений и разуплотнения железобетона на колонне. Наиболее характерным и опасным дефектом является потеря несущей способности одной из колонн мостового переезда, а именно крайняя - как наиболее подверженная внешним воздействиям и испытывающая наибольшие эквивалентные напряжения von Mises.

На эпюре перемещений по вертикали (рисунок 12) показано критическое изменение положения колонны и опирающихся на неё балок, из-за уменьшения её несущей способности вследствие образования дефектов. Происходит критическое смещение оголовка колонны вследствие чего потеря устойчивости опирающихся на него балок. Данные результаты свидетельствует о потери несущей способности именно вертикального элемента - колонны.

На других эпюрах показаны перемещения (рисунки 13 - 15) которые не привели к значительным изменениям, все данные находятся в допустимых границах. Перемещения по горизонтали вдоль несущих элементов (рисунок 14) показывают незначительные смещения зон опирания железобетонных балок, а перемещения по горизонтали поперёк (рисунок 15) несущих элементов показывают критическое смещение крайней колонны, которая тянет за собой и опёртые на неё железобетонные балки.

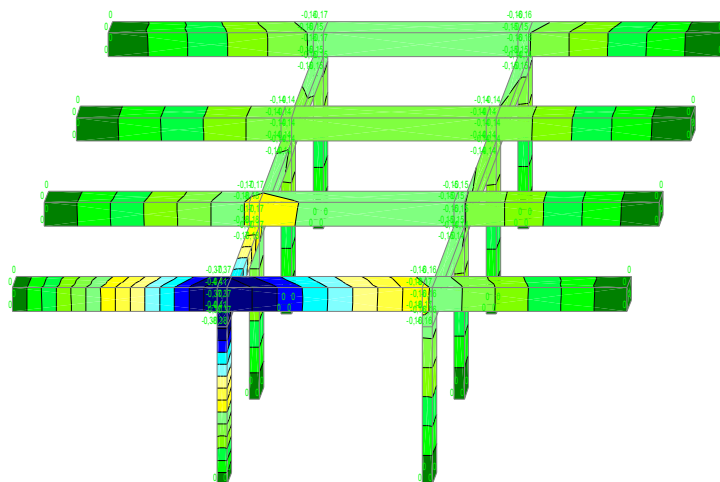


Рисунок 12 – Эпюра перемещений по вертикали элементов мостового переезда при потере несущей способности колонны

При сравнении эпюр эквивалентного напряжения von Mises (рисунки 15 - 17) наибольшие напряжения возникают по вертикали несущих элементов мостового переезда, а именно на оголовке крайней колоны и горизонтальных балках опёртых на неё. Данные результаты свидетельствуют о возникновении критических напряжений в местах опирания, в два раза больше чем в других колоннах мостового переезда, что приводит к разрушению рассматриваемых элементов и потери несущей способности всего сооружения.

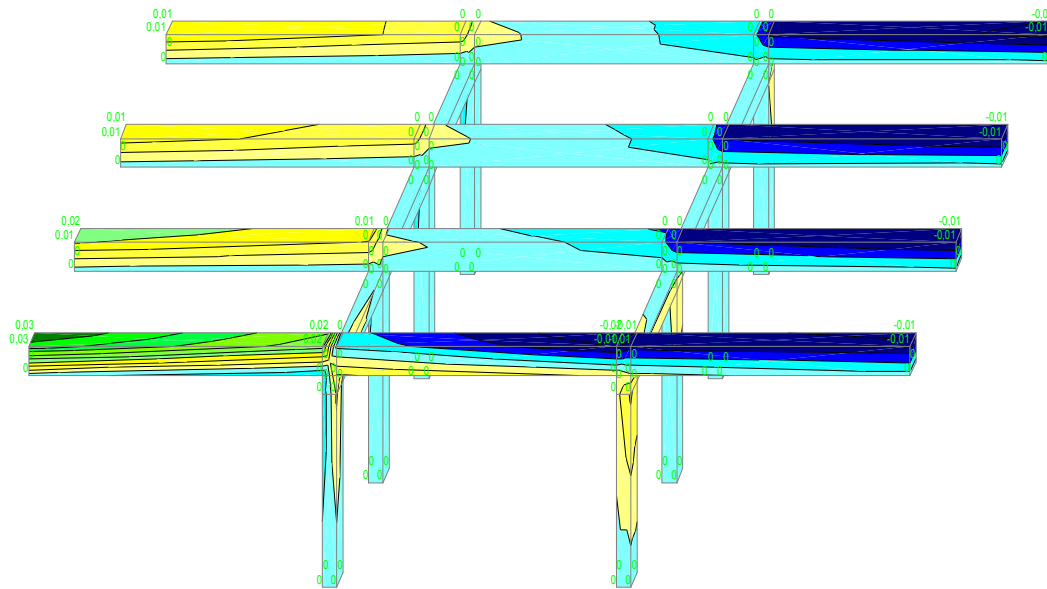


Рисунок 13 – Эпюры перемещений по горизонтали вдоль элементов мостового переезда при потере несущей способности колонны

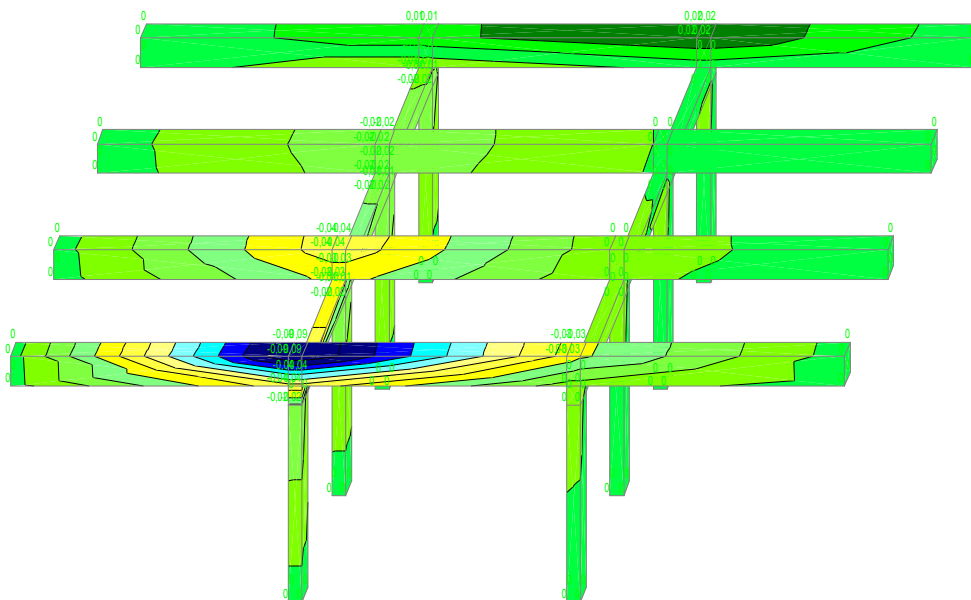


Рисунок 14 – Эпюры перемещений по горизонтали поперёк элементов мостового переезда при потере несущей способности колонны

Эпюры эквивалентного напряжения von Mises по горизонтали вдоль и поперёк несущих элементов мостового переезда (рисунки 15 - 17) показывают также критические напряжения возникающие в зоне опирания балок на оголовки колонны, вызванные деформациями несущих

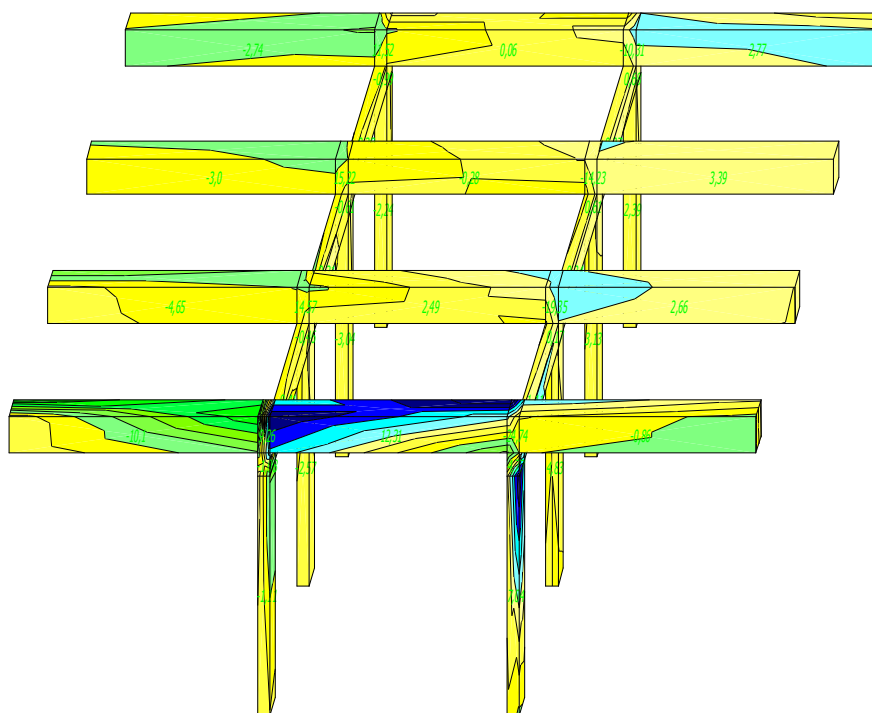


Рисунок 17 – Эпюра эквивалентного напряжения von Mises по горизонтали поперек мостового проезда при потере несущей способности колонны

В результате проведенных численных экспериментов были выделены зоны образования дефектов и повреждений [11, 12] на несущих элементах мостовых проездов через водопроводящие каналы, которые могут содержать одностипные виды характерных повреждений, что позволяет упорядочить процесс прокладки профилей георадарного зондирования и определения точек, в которых необходимо производить измерения прочности бетона при проведении натурных обследований [13]. В связи с этим произведено моделирование дефектов на колонне в виде образования пустот и разуплотнений железобетона с размерами диаметром от 50 мм до 100 мм. Установлен интенсивный порог опасности, начиная с диаметра 100 мм образования пустот и разуплотнений железобетона.

Библиография

1. Фёдоров В.М. Оценка надёжности водопроводящей сети оросительных систем // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 65(01).
2. Волосухин В.А., Фролов Д.И. и др. Сборник нормативно-методических документов, применяемых при декларировании безопасности гидротехнических сооружений. В 10 т. / Под общ. ред. В.А. Волосухина / Академия безопасности ГТС – Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2011. Том 1. С. 385 – 397.
3. Бандурин М.А. Обследование состояния оросительных лотковых каналов Азовской оросительной системы неразрушающими методами / [Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета](#). 2006. № 24. С. 72-76.
4. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Особенности применения моделирования аварийных мостовых проездов через водопроводящие каналы при проведении эксплуатационного мониторинга / [Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки](#). 2012. № 5. С. 82-86.
5. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / [Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки](#). - 2005.-прилож. № 1 С. 141-147.

6. Бандурин М.А. [Моделирование напряженно-деформированного состояния оросительного лотка-оболочки / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 24. С. 76-81.](#)
7. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / Инженерный вестник Дона 2012 № 2.
8. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. [Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений / Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 3. С. 88-93.](#)
9. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. [Вопросы моделирования технического состояния водопроводящих каналов при проведении эксплуатационного мониторинга / Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 1. С. 70-74.](#)
10. Волосухин Я.В., Бандурин М.А. [Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов Обводнительно- оросительных систем / Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 2. С. 102-106.](#)
11. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Патент на изобретение «Способ проведения эксплуатационного мониторинга технического состояния лотковых каналов оросительных систем» № 2368730. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 27 сентября 2009 г.
12. Бандурин, М.А. К вопросу о состоянии железобетона лотковых каналов Азовской оросительной системы / [Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 24. С. 82-86.](#)
13. Волосухин В.А., Бандурин М.А. Шестаков А.В. Патент на изобретение «Устройство для диагностики и прогнозирования технического состояния лотковых каналов оросительных систем» № 2364681. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 20 августа 2009г.

Оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкций покрытия спорткомплекса при запроектных нагрузках Evaluation of stress-strain state of metal coatings in sports complex load beyond design basis

УДК 692.4

Грибанов Я.И.

Руководитель группы, ООО Научно-проектная фирма «Надёжность», г. Пермь

Gribanov Ia.I.

Head of the group, Scientific and engineering firm «Nadejnost», Perm city

Быков А.А.

Аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета

Bykov A.A.

Postgraduate student of Perm National Research Polytechnic University

Калугин А.В.

Кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» Пермского национального исследовательского политехнического университета

Kalugin A.V.

PhD in Economics, Docent, head of Department «Building construction» of Perm National Research Polytechnic University

Аннотация

Рассмотрен анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкций покрытия спортивного комплекса при воздействии запроектных нагрузок.

Abstract

We consider the analysis of the stress-strain state of metal covering the sports complex when exposed to loads beyond the design basis.

Ключевые слова

Анализ напряженно-деформированного состояния, запроектные нагрузки, мониторинг, планирование эксперимента

Keywords

Analysis of the stress-strain state, beyond the design basis load, monitoring, planning of experiment

Обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений с массовым пребыванием людей является первостепенной задачей технических служб собственников объектов.

Не редко в процессе строительства таких сложных объектов подрядными организациями вносятся существенные изменения в конструктивные решения, которые не согласовываются с проектной организацией и не отражаются в исполнительной технической документации.

За продолжительный период от проекта до сдачи объекта в эксплуатацию (из-за перерывов в строительстве по финансовым и др. причинам) меняются нормы проектирования, что приводит к появлению запроектных нагрузок на основные несущие конструкции объекта.

В процессе эксплуатации на конструкции объекта воздействует ряд неблагоприятных факторов (например, агрессивность среды эксплуатации), что зачастую не в полной мере учитывается при разработке проекта.

В таких случаях, важную роль в обеспечении нормальной безопасной эксплуатации зданий и сооружений играет система мониторинга технического состояния объекта, которая позволяет в режиме реального времени оценивать текущее состояние основных несущих конструкций объекта, принимать своевременные решения по предупреждению аварийных ситуаций.

Рассматриваемый объект - спортивный комплекс в г. Перми, состоящий из 4-х заблокированных зданий различного функционального назначения (см. рис. 1). Строительство объекта велось с 1992 по 2005 гг. (с перерывом в строительстве с 1995 по 2002 гг.) вначале югославской фирмой с участием зарубежных и российских субподрядчиков, а на заключительном этапе, только российскими строителями. На рассматриваемом объекте присутствуют все негативные факторы, отмеченные выше:

1. был период приостановки строительства без консервации объекта, когда несущие конструкции подвергались неблагоприятным воздействиям (атмосферные осадки, конденсат, перепады температур);

2. в ходе строительства неоднократно менялись объемно-планировочные и конструктивные решения, причем без согласования с генпроектировщиком, контракт с которым (югославской фирмой) к тому моменту уже был прерван, эти изменения не вносились в исполнительную техническую документацию;

3. к моменту ввода объекта в эксплуатацию изменились многие нормативные документы, в частности, нормы по нагрузкам и воздействиям, нормы по тепловой защите зданий и др.

Учитывая сложность объекта и отмеченные выше негативные факторы, перед его вводом в эксплуатацию были проведены работы по обследованию технического состояния строительных конструкций. На основе анализа материалов проведенных обследований можно сформулировать основные проблемы объекта:

- недостаточная несущая способность стропильных ферм блока I в зоне примыкания к блоку II от расчетного сочетания нагрузок, в связи с изменением в ходе строительства высоты примыкающего

блока II (перепад высот возрос с 1,40 м до 3,40 м) и, соответственно, увеличением снеговой нагрузки на нижележащие стропильные фермы (в зоне снегового мешка);

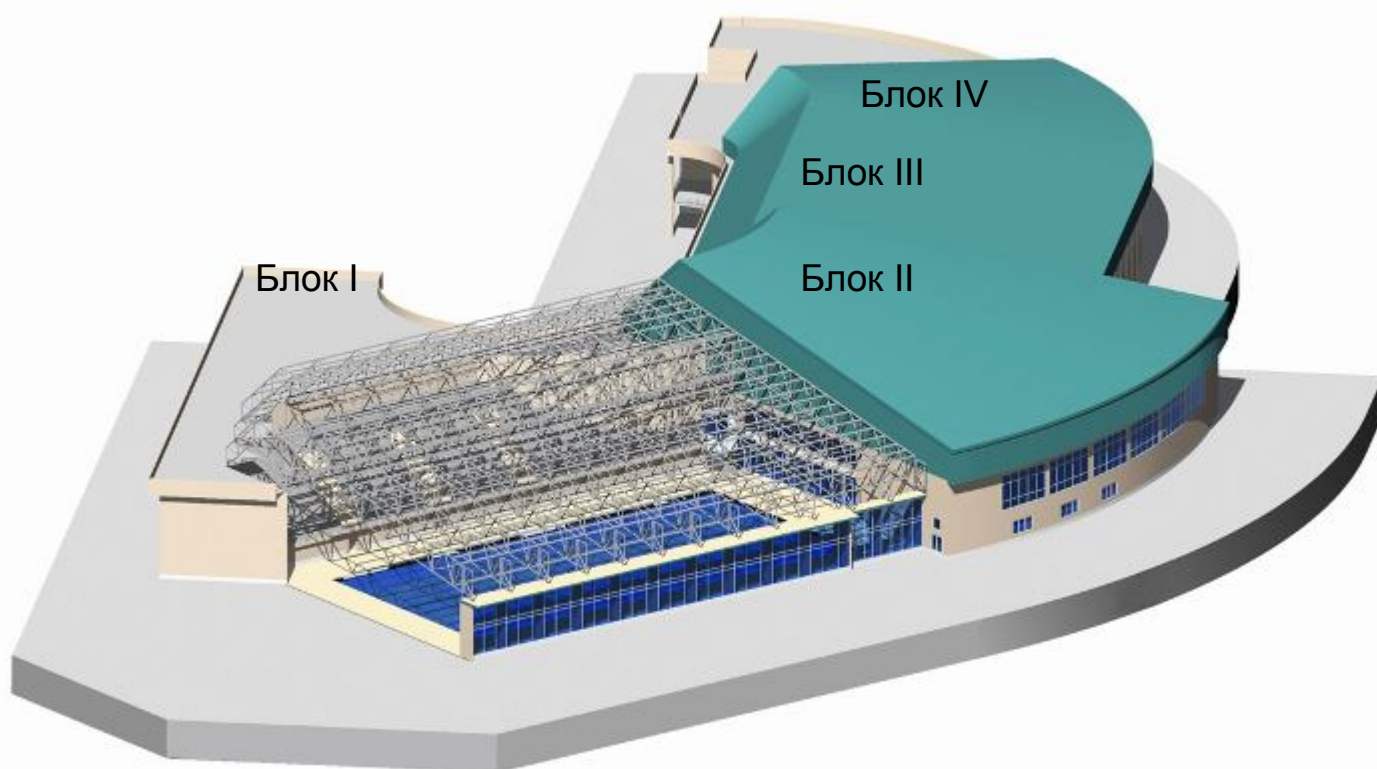


Рис. 1. Общий вид спортивного комплекса

- не соответствие принятой в проекте конструкции кровли новым нормативным теплотехническим требованиям. Необходимость замены кровли с увеличением толщины утеплителя до требуемых параметров привело к возрастанию постоянных нагрузок на фермы покрытия от новой более тяжелой кровли;

- при изготовлении стропильных ферм заводом-изготовителем металлоконструкций была допущена замена марок (классов) стали в поясах стропильных ферм без согласования с проектной организацией (вместо низколегированной стали С345 по проекту, фактически применена сталь С285);

- за период длительного (более 5 лет) нахождения объекта в стадии незавершенного строительства без консервации объекта во внутренних полостях элементов коробчатого сечения ферм накопилась конденсационная влага, что вызвало развитие коррозионных процессов внутри замкнутых полостей элементов ферм;

- в монтажных узлах стропильных ферм вместо предусмотренных проектом высокопрочных болтов были поставлены болты нормальной прочности;

- фактическая работа опорных узлов несущих конструкций покрытия отличается от проектной, в частности, шарнирно-подвижная опора подстропильной фермы уперлась в стену по оси «53», шарнирно-подвижные опоры стропильных ферм по оси «И» оказались закрепленными от горизонтального перемещения кирпичной стеной и бетонным полом;

- система связей по покрытию не соответствовала российским нормам и была изменена по сравнению с первоначальным проектом;

- узлы крепления прогонов подвешенного потолка (от самого подвешенного потолка отказались на завершающем этапе строительства) к нижним поясам стропильных ферм, изменили проектную схему примыкания нижних поясов стропильных ферм к подстропильной ферме.

Основываясь на результатах обследования, был выполнен сравнительный анализ проектных и фактических нагрузок, см. табл. 1, который свидетельствует о возрастании нагрузок.

Таблица 1. Анализ проектных и фактических нагрузок

Наименование нагрузки	Значение нормативных нагрузок, кН/м ²		Разница, %	Примечание
	По проекту	По факту		
Постоянные:				
- собственный вес элементов покрытия	0,49	0,54	10	Добавился вес элементов усиления ферм и дополнительных связей
- собственный вес кровли	0,23	0,68	67	Изменился состав кровли в связи с новыми нормами по теплотехнике
Временная:				
- снеговая нагрузка в зоне примыкания к блоку II	4,7	9,6	51	Изменился СНиП «Нагрузки и воздействия». Изменился перепад высот между блоками I, II с 1,4 м до 3,4 м

Современные методы обследования несущих конструкций и сооружений в целом позволяют дать объективную оценку их состояния, выявить дефекты, причины их возникновения и способы устранения, установить экономическую целесообразность ремонта, усиления, замены дефектных конструкций или сделать заключение о необходимости реконструкции или демонтажа сооружения.

Учитывая уникальность и ответственность объекта, собственником объекта, в соответствии с новыми нормами, было принято решение организовать мониторинг технического состояния металлоконструкций покрытия блока I, в котором находится большой плавательный бассейн с ванной 50x25 м и трибунами на 1000 зрителей и вспомогательные помещения.

Система мониторинга металлоконструкций покрытия была выстроена в соответствии с конструктивными особенностями исследуемых конструкции и включает в себя:

– систематическое визуальное освидетельствование конструкций и узлов металлоконструкций покрытия;

– геодезические измерения вертикальных перемещений контрольных точек металлоконструкций покрытия относительно опорных реперов в зимний период в зависимости от фактической нагрузки на покрытие (при этом ведется измерение толщины снежного покрова на кровле и определение плотности снега);

– тензометрию деформаций стержней металлоконструкций покрытия в режиме реального времени;

– измерение толщины стенок замкнутых профилей элементов металлоконструкций покрытия два раза в год, из-за попадания внутрь коробчатых сечений элементов воды и возможного развития коррозионных процессов стальных элементов в среднеагрессивной среде бассейна.

Основной задачей мониторинга является оценка работоспособности несущих металлоконструкций покрытия здания. В качестве критериев работоспособности приняты показатели прогибов стальных стропильных ферм и подстропильной фермы, а также уровень нормальных

напряжений в элементах металлоконструкций в различные периоды года (при наличии и отсутствии снеговой нагрузки на кровле объекта).

Для оценки деформаций несущих стальных конструкций принят метод тензометрирования. В качестве источников первичной информации использованы фольговые тензодатчики электрического сопротивления 2ФКПА-20-200-А.

Датчики деформаций были наклеены на наиболее нагруженные элементы по результатам проверочных расчетов. Все датчики ориентированы параллельно продольным осям стержней для измерения продольных деформаций в них. Компенсационные датчики наклеены на стальные пластины, которые закреплены рядом с рабочими датчиками одной стороной. Для наклейки тензодатчиков на стержни стропильных ферм использован однокомпонентный моментальный клей на основе этилцианакрилата.

Регистрация показаний датчиков ведется с помощью измерительной системы «Терем-4». Универсальный измеритель-регистратор «Терем-4» является представителем нового поколения техники измерения параметров разных физических и производственных процессов. Основой регистратора является микропроцессорное центральное устройство, к которому по трехпроводной линии подключаются адаптеры связи с датчиками.

Адаптеры изготавливаются индивидуально и могут обслуживать до восьми датчиков одного или различного видов. Между центральным устройством и адаптером информация передается в цифровом виде и хранится энергонезависимой flash-памятью при выключении питания прибора. Интерфейс связи с компьютером позволяет передавать сохраненные данные из прибора в персональный компьютер. Переданные данные хранятся в компьютере в формате Excel и могут быть представлены с помощью индивидуальных программ в виде таблиц, графиков, диаграмм и т.д. На рис. 2 представлен график показаний одного из датчиков деформаций посредством программы «Терем-4».

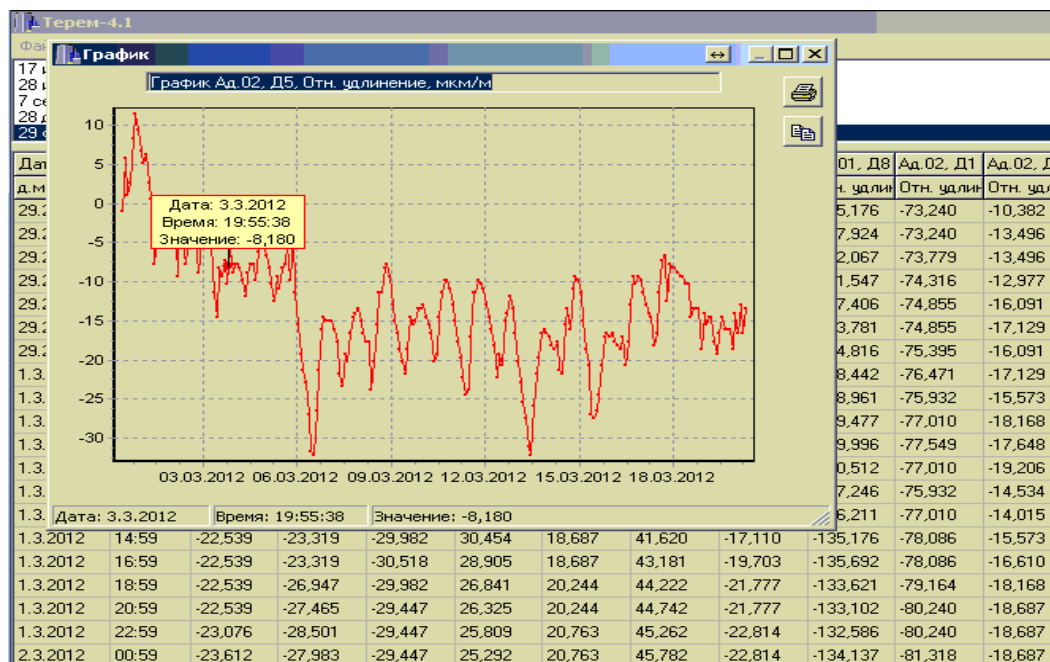


Рис. 2. Пример построения графиков показаний датчиков деформаций в программе «Терем-4»

После монтажа датчиков деформаций они были соединены с адаптером, который в свою очередь был подключен к персональному компьютеру (см. рис. 3). Для удобства и оперативности считывания данных ПК был подключен к сети Интернет через 3G-модем. С помощью специальных программных средств была отлажена система автоматического сбора информации с регистрирующих устройств и ее отправка на мониторы специалистов. Считывание и отправка данных происходит

каждые 12 час. Данный временной интервал наиболее оптимален по информативности данных и ее объему.



Рис. 3. Подключение регистрирующего прибора «Терем-4» к ПК

Как отмечалось выше, в ходе работ по обследованию металлоконструкций покрытия была обнаружена вода в замкнутых полостях элементов коробчатого сечения (прогонах, элементах стропильных ферм). Механизм попадания воды во внутренние полости элементов коробчатого сечения не вполне ясен, вероятно, произошло проникновение атмосферной влаги внутрь элементов через дефекты сварных соединений в процессе строительства и последующий период приостановки строительства. Еще одной возможной причиной попадания воды в замкнутые полости элементов, является конденсат.

Для выпуска воды было проведено сплошное сверление отверстий в нижней зоне во всех элементах замкнутого сечения. Вода была обнаружена примерно в 400 элементах. Количество воды в элементах различно: от нескольких миллилитров до 50 литров. Цвет воды, выпущенной из элементов, также различный: от прозрачного до мутно-коричневого цвета, что свидетельствует о наличии коррозионных процессов внутри элементов замкнутого сечения. Ряд элементов (прогоны покрытия, отдельные элементы нижних поясов ферм) из-за расширения воды при замерзании в зимнее время в период приостановки строительства приобрели «бочкообразную» форму и были заменены или усилены.

С целью контроля скорости коррозионных процессов внутри элементов, была налажена система выборочного контроля толщин стенок замкнутых профилей. Для определения фактических геометрических характеристик сечений стропильных конструкций и для учета коррозионных процессов протекающих в замкнутых полостях стержней элементов проводилось измерение толщины стенок замкнутых профилей элементов с помощью ультразвукового прибора «Взлёт-УТ» (точность измерений прибора 0,01 мм).

Общее количество точек контроля 200, месторасположение точек контроля определялось таким образом, что бы обеспечить выявление зон, в которых процессы коррозии протекают наиболее интенсивно. Специально для этого был взят под контроль нижний пояс одной из стропильных ферм, в котором точки контроля располагаются с интервалом в 1 м, начиная с ее опорной части. По контуру сечения точки контроля расположены на ровной поверхности (стенка швеллера, стенка квадратной трубы, стенка двутавра). При выполнении замеров соблюдались все требования инструкции по пользованию прибором (точка контроля зачищалась с помощью инструментов и

наждачной бумаги до зеркального блеска металла, наносился тонкий слой литола для лучшего контакта датчика с поверхностью металла и защиты последнего от возможной в дальнейшем поверхностной коррозии и др.).

Основное внимание было обращено на растянутые стержни. Также были проведены замеры для стержней, в которых воды не обнаружено. При освидетельствовании состояния стальных конструкций покрытия для проверки наличия воды в замкнутых полостях сечений снимались заглушки, герметизирующие просверленные отверстия. Отсутствие воды под заглушками дает основание полагать, что при существующих условиях эксплуатации конденсат во внутренних полостях стержней не образуется. Дополнительно были просверлены отверстия в замкнутых полостях стержней подстропильной фермы для выявления и выпуска попавшей туда воды. По результатам сверления вода в стержнях подстропильной фермы не обнаружена, что можно объяснить высоким качеством сварных швов, которые по проекту подлежали повышенному контролю с использованием физических методов.

Анализ результатов замеров позволяет сделать вывод, что в целом наблюдается динамика уменьшения толщины стенок прокатных швеллеров. Так уменьшение толщины стенок стержней стропильных ферм состоящих из двух спаренных швеллеров №14 составило 0,15 мм за все время наблюдения, то же для №12 – 0,3 мм, №16 – 0,42 мм, №10 – 0,25 мм.

Результаты замеров позволили сделать вывод, что коррозионное повреждение элементов на участках, расположенных выше границы двух сред (вода – воздух) больше, чем на участках, находящихся долгое время под слоем воды. Однако скорость протекания процессов коррозии на всех участках примерно одинакова.

Для объективной оценки технического состояния объекта необходимо также иметь адекватную расчетную модель объекта, позволяющую выполнять прочностные расчеты конструкций с учетом влияния различных факторов. Металлоконструкции покрытия блока I представляют собой сложную систему ферм, связей, балок подвесного потолка и т.д., состоящую из более чем 3000 элементов, см. рис. 4. В данной работе моделирование несущих конструкций покрытия было выполнено в программном пакете ANSYS, а для учета изменения геометрических характеристик сечений элементов с учетом коррозионных процессов был разработан модуль, написанный в среде MathCAD.

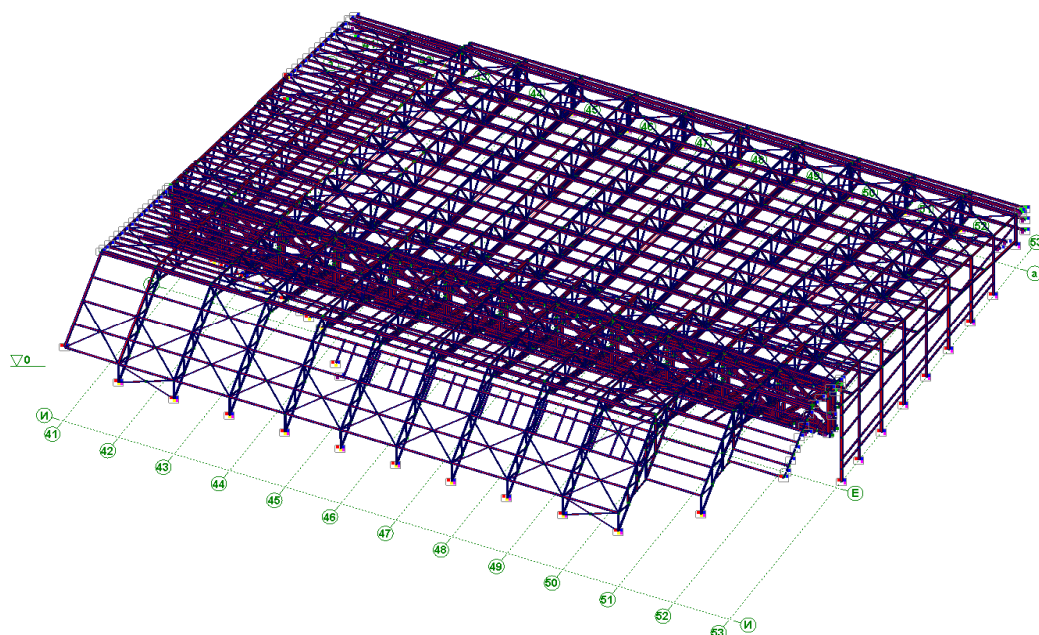


Рис. 4. Расчетная схема покрытия спортивного сооружения

Расчетный модуль в MathCAD позволяет учесть все особенности поперечных сечений элементов в характеристиках жесткости, автоматизировать расчет геометрических характеристик стержневых элементов покрытия, учесть изменение геометрических размеров сечения на величину, равную уменьшению толщины сечения стенки элементов ферм с внутренней стороны, которое происходит в результате коррозии стали. В качестве исходных данных для расчета программа использует геометрические размеры поперечных сечений прокатных профилей, приведенных в соответствующих ГОСТах. Необходимо отметить, что анализ геометрических характеристик при численном интегрировании для сечений стандартных прокатных профилей швеллеров по ГОСТ 8240-89 показал их неполное совпадение с данными сортамента. Основные геометрические характеристики для рассмотренных сечений отличаются от данных, приведенных в сортаментах в среднем на 5%. Аналогичные результаты для геометрических характеристик неослабленных сечений получены при расчетах с помощью модуля «Конструктор сечений» программы SCAD Office.

Результаты окончательного расчета характеристик жесткости стержней размещаются в текстовом файле, который переносится в программу статического расчета покрытия в среде ANSYS.

Для оценки адекватности расчетной модели был поставлен натурный эксперимент, при котором замерялись прогибы и относительные деформации существующего покрытия от воздействия снеговой нагрузки. В качестве контрольной нагрузки для покрытия служил вес снега, величина которого определялась прямым взвешиванием одновременно с проведением измерений перемещений контрольных точек (см. рис. 5).

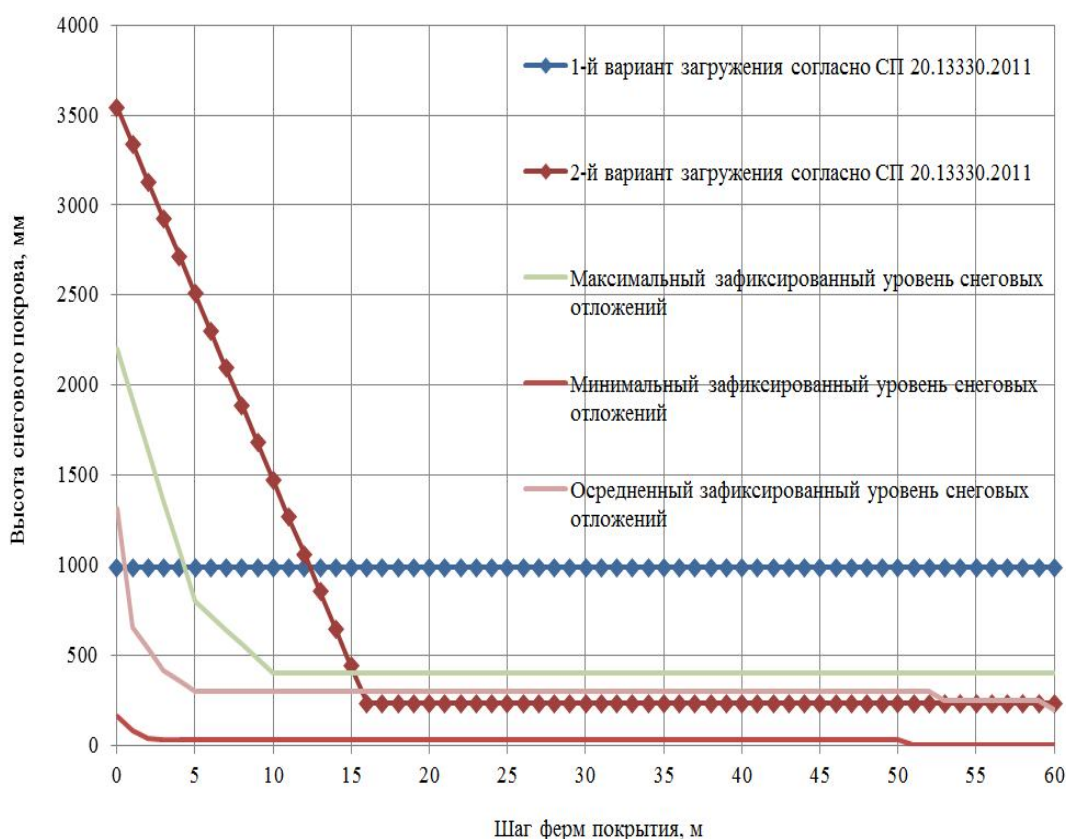


Рис. 5. График снеговых отложений на покрытии спорткомплекса

Отличительной особенностью результатов геодезических измерений спортивного комплекса является возможность выделения перемещений контрольных точек от действия только снеговой нагрузки и сравнения их с результатами, полученными при расчете модели покрытия от действия той же нагрузки, см. рис. 6.

Прогиб стропильных ферм зависит от прогиба подстропильной фермы, см. рис. 7. Так стропильная ферма имеет прогиб f в середине пролета от действия постоянной и длительной нагрузки. Под действием снеговой нагрузки опорные узлы нижнего пояса по оси «Е» стропильных ферм перемещаются на величину a , то есть практически на величину вертикальных перемещений контрольных точек, зафиксированных на нижнем поясе подстропильной фермы. Перемещение опорных узлов стропильных ферм на величину a вызывает перемещение контрольных точек в середине пролета на величину b , прямо пропорциональную величине a , при этом действие снеговой нагрузки дополнительно вызывает перемещение контрольных точек на величину f' . Таким образом, разность высотных отметок контрольных точек без снеговой нагрузки и со снеговой нагрузкой (величина c) не равна прогибу стропильных ферм при действии снеговой нагрузки, в отличие от подстропильной фермы.

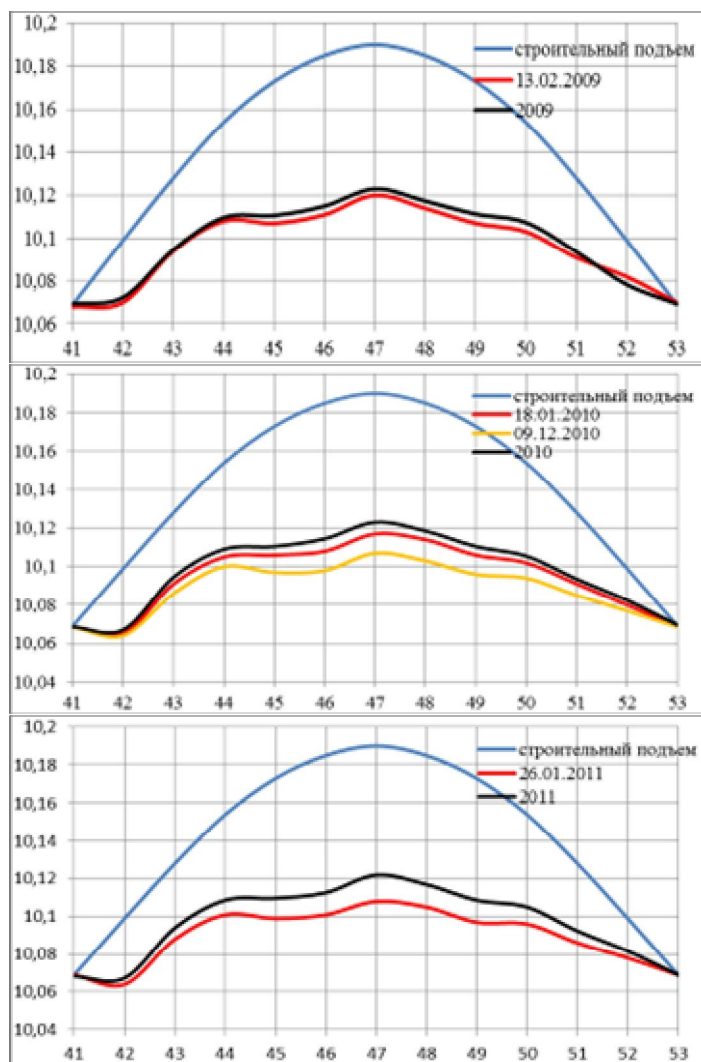


Рис. 6. Диаграммы высотных отметок контрольных точек подстропильной фермы:

- кривая строительного подъема фермы;
- кривые высотных отметок контрольных точек, зафиксированных при снеговых отложениях на покрытии на конкретную дату;
- кривая высотных отметок контрольных точек, зафиксированных при отсутствии снеговых отложений на покрытии, построенная по средним в течение года значениям.

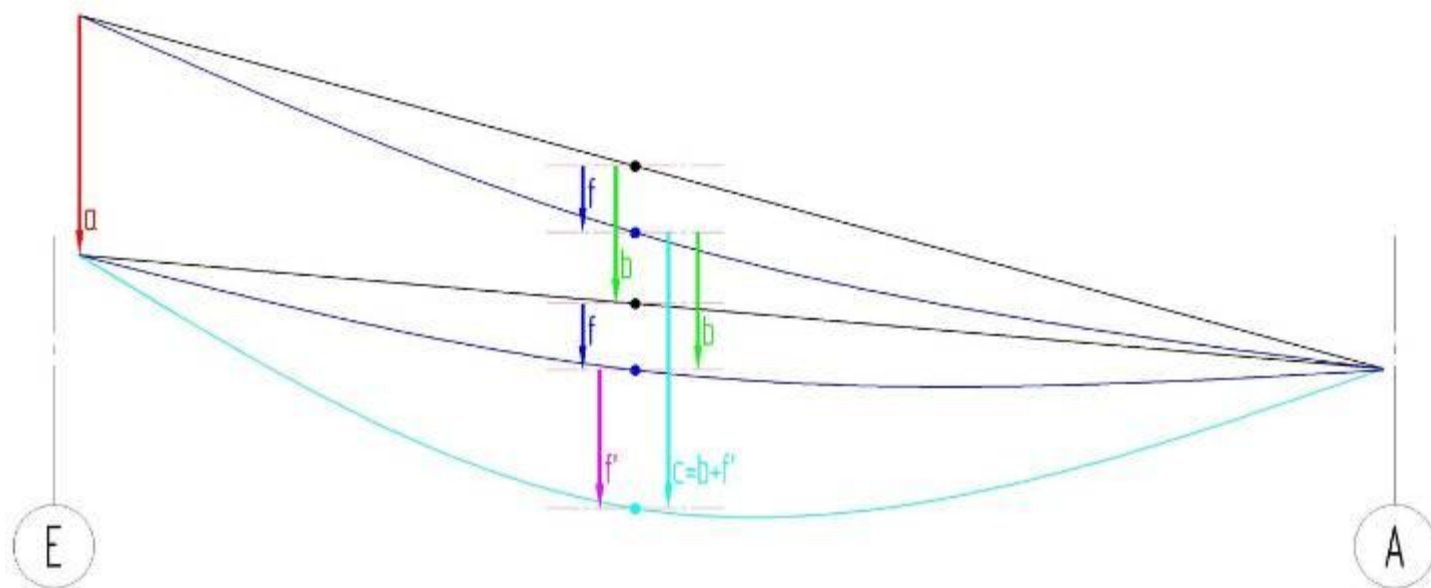


Рис. 7. Схема к определению прогиба стропильной фермы

Проведенный эксперимент показал хорошую сходимость натуральных измерений прогибов с результатами теоретического расчета сооружения.

После того как была выполнена оценка адекватности расчетной модели был разработан алгоритм расчета с учетом коррозионных процессов, протекающих в конструкциях покрытия и как следствие изменений геометрических характеристик сечений элементов, см. рис. 8.



Рис. 8. Алгоритм расчетного комплекса по анализу напряженно-деформированного состояния несущих конструкций покрытия с учетом коррозионных процессов

Результаты статического расчета стержневой конструкции покрытия в виде текстового файла из программы ANSYS транспортируются в модуль программы MathCAD и используются для расчета напряженного состояния стержней несущих элементов. Этот расчет составляет третий этап работы и

выполняется с целью проведения оценки работоспособности покрытия по критериям первой и второй групп предельных состояний: прочности и устойчивости. Расчет значений компонентов тензора напряженного состояния в стержнях несущих элементов покрытия с учетом коррозии внутренней поверхности полого сечения так же выполняется в MathCAD.

На рис. 9 представлена пространственная деформированная модель покрытия объекта.

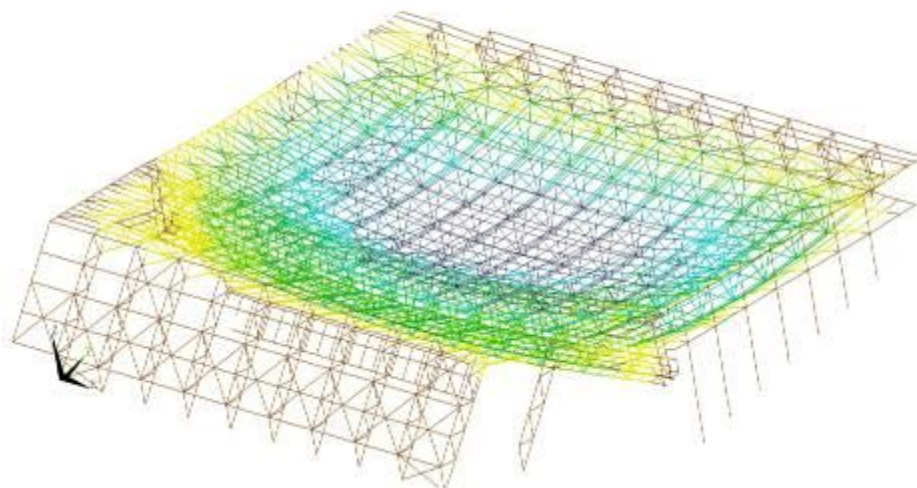


Рис. 9. Пространственная деформированная модель покрытия объекта

Вычислительный комплекс ANSYS и разработанный расчетный модуль в MathCAD позволяют оценивать влияние коррозионных процессов протекающих в замкнутых полостях несущих элементов покрытия, а так же выполнять автоматический пересчет покрытия по группам предельных состояний.

Для оценки влияния на напряженно-деформированное состояние покрытия различных факторов был выполнен ряд расчетов по компьютерной модели с использованием методов планирования эксперимента. В данной работе методы планирования эксперимента использовались для оценки влияния варьируемых факторов и выбора оптимальных условий закрепления опорных узлов подстропильной фермы (ПФ) и стропильных ферм (СФ).

Ниже приведены допущения для граничных условий опорных узлов и условий сопряжения стержней ПФ и СФ, справедливость которых оценивалась с помощью методов планирования эксперимента:

плита балансира опорного узла ПФ по оси «53» уперта в вертикальную плоскость железобетонной балки кровли на отм. +10,000 м по оси «54», что позволяет считать, что горизонтальное перемещение нижнего узла фермы по оси «53» в сторону оси «54» запрещено;

при устройстве монолитной железобетонной стены по оси «53» консоль верхнего пояса ПФ оказалась в бетоне на глубину 286 мм, что позволяет считать, что перемещения верхнего узла фермы запрещены;

узлы опирания СФ на железобетонные конструкции каркаса по осям «А» и «И» запроектированы в виде плиточных шарниров, однако остались не срезанными установочные болты, что позволяет считать, что их поворот и перемещения запрещены;

свободному ходу листовых шарниров в узлах крепления нижних поясов СФ к ПФ мешают прогоны подвесного потолка;

сопряжения стержней СФ выполнены на сварке через фланцы, сопряжение стержней ПФ выполнено на болтах, что позволяет считать, что существует определенная податливость данных соединений.

Из других факторов, влияющих на НДС металлоконструкций покрытия, были рассмотрены следующие:

- изменение геометрических характеристик сечений элементов за счет усиления отдельных элементов, включение в работу элементов усиления;
- изменение расчетной схемы ПФ и СФ за счет изменения характера закреплений опорных узлов.

Выяснилось также, что на НДС металлоконструкций покрытия большое влияние оказывает включение в работу вспомогательных элементов покрытия: прогонов кровли, прогонов подвесного потолка, связей и даже конструкций ходовых мостиков по нижним поясам ферм.

Проведенные расчеты показали, что несущая способность основных несущих конструкций покрытия объекта от фактически действующих нагрузок и воздействий, обеспечена, напряжения в наиболее нагруженных элементах и узлах не превышают 70% от расчетных.

Однако, при сочетании ряда неблагоприятных факторов от расчетного сочетания нагрузок (с учетом максимального снега по СНиП) возможно появление элементов с перенапряжениями от 4 до 24 %, см. рис. 10.

Общая оценка технического состояния металлоконструкций покрытия объекта – ограниченно работоспособное. Дальнейшая безопасная эксплуатация объекта возможно только при постоянном мониторинге технического состояния и ограничении снеговой нагрузки в зоне возможного образования снегового мешка (на участке примыкания к блоку II, где есть перепад высот).

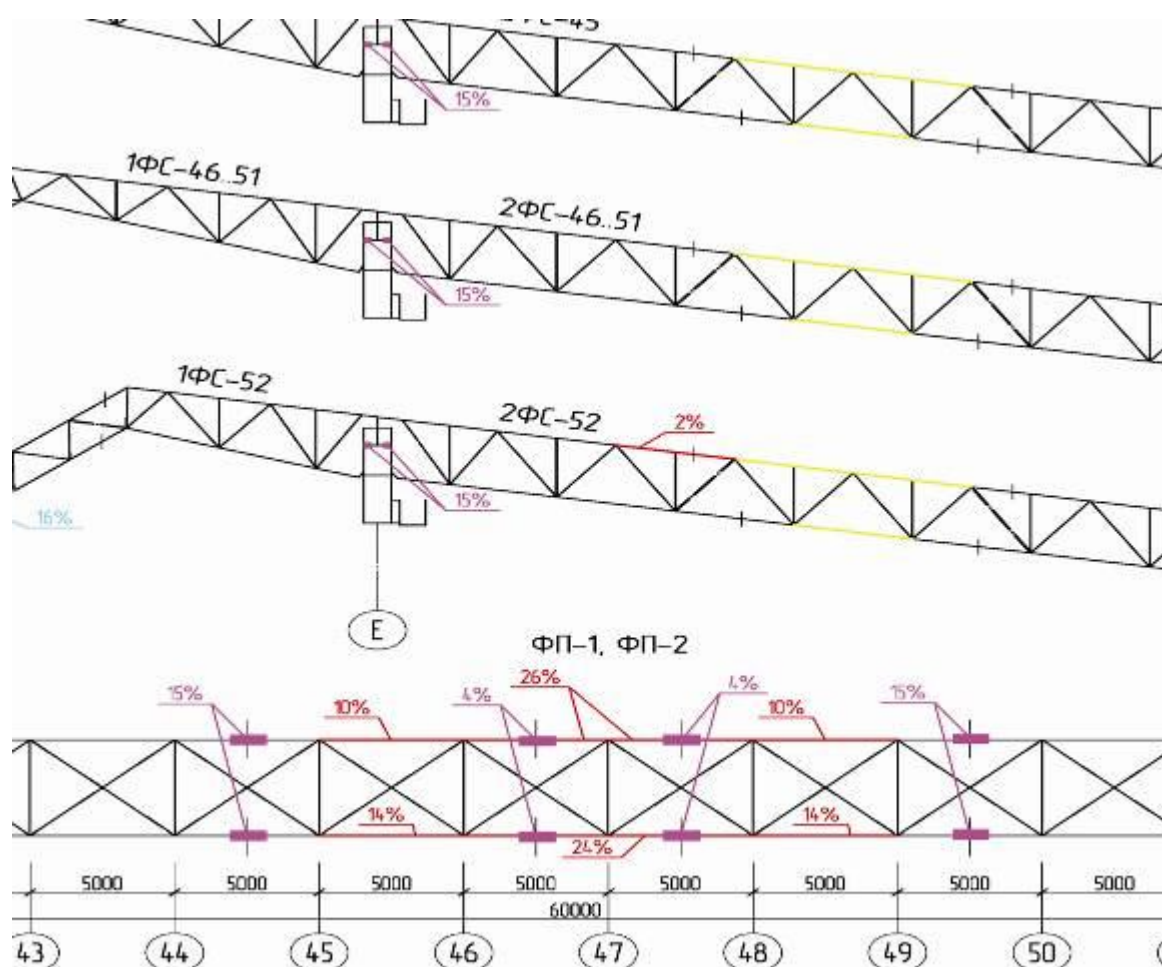


Рис. 10. Схемы ферм с указанием элементов и узлов, несущая способность которых не обеспечена от воздействия полных расчетных нагрузок

Выводы:

1. Разработанная методика мониторинга технического состояния объекта с помощью методов тензометрирования и прямого измерения прогибов конструкций позволяет вести контроль за состоянием металлоконструкций покрытия в режиме реального времени и может быть применена на подобных объектах с похожими проблемами.

2. Создание пространственной математической модели объекта с проверкой адекватности расчетной модели прямым натурным экспериментом позволили установить закономерности деформационных процессов в несущих конструкциях покрытия.

3. С помощью разработанной методики оценки НДС несущих конструкций объекта появилась возможность своевременно устанавливать необходимость проведения текущих ремонтных мероприятий по поддержанию или восстановлению нормативного технического состояния конструкций, предупредить появление внештатных ситуаций.

Библиография

1. Грибанов Я.И., Калугин А.В., Быков А.А. Организация мониторинга технического состояния стальных несущих конструкций покрытия спортивного комплекса //Промышленное и гражданское строительство – 2011. - № 7(2). – С. 6-8.
2. Грибанов Я.И., Калугин А.В., Балакирев А.А., Быков А.А. Оценка адекватности компьютерной модели несущих конструкций покрытия спортивного комплекса на основе анализа действия снеговой нагрузки//Промышленное и гражданское строительство – 2011. - № 7(2). – С. 9-11.
3. Грибанов Я.И., Калугин А.В. Мониторинг технического состояния металлоконструкций покрытия спортивного комплекса //Вестник ПГТУ «Строительство и архитектура» – 2010. - №1. Тематический выпуск «Теория и практика инженерного обследования строительных конструкций зданий и сооружений».
4. Грибанов Я.И., Балакирев А.А., Калугин А.В. Расчет геометрических характеристик прокатных профилей //сборник материалов международной научной студенческой конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых» в 3-х частях. – 2009. – часть 3 – С. 129.
5. Грибанов Я.И., Быков А.А., Калугин А.В. Система измерений перемещений и деформаций несущих металлоконструкций спортивного комплекса //Теоритические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 31 января 2012 г.: в 10 частях. Часть 2; Мин. Образования и науки Рос. Федерации. Тамбов. Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. – С. 44-46.

Комплекс инженерно-сейсмометрических методик для оценки состояния зданий и сооружений Seismic methods for building state assessment

УДК 550.34

Капустян Н.К.

Главный научный сотрудник Координационного прогностического центра Института физики Земли РАН, главный научный сотрудник лаборатории сейсмологии Института экологических проблем Севера УрО РАН, доктор физико-математических наук. Специалист в области глубинного сейсмического зондирования, сейсмометрических обследований территорий и сооружений,

сейсмического мониторинга. Автор и соавтор более 130 научных работ, 11 монографий. Имеет 5 патентов. Награждена медалью «850-летия Москвы».

Kapustian N.K.

The senior researcher of the Coordination prognostic center of Institute of Physics of the Earth of RAS, the senior researcher of the Laboratory of Seismology of the Institute of Ecological Problems in the North of UB RAS, Dr of Scientific. Expert in the field of deep seismic sounding, seismic investigations of territories and constructions, seismic monitoring. Author of more than 150 scientific articles and 11 monographs, owner of 6 patents. Holder of the medal of "850 year of Moscow".

Антоновская Г.Н.

Заведующий лабораторией сейсмологии Института экологических проблем Севера УрО РАН, кандидат технических наук, руководитель научно-образовательного центра «МПТО-Арктика». Специалист по созданию систем сейсмометрических наблюдений для территорий и инженерных сооружений. Автор и соавтор около 70 научных работ, 3 монографий. Имеет 2 патента.

Antonovskaya G.N.

The head of the Laboratory of Seismology of the Institute of Ecological Problems in the North of UB RAS, the head of the Research and Education Center "MNTD-Arctica", PhD. Expert in seismic field installations, engineering seismology and data analysis. Author of more than 70 scientific articles and 3 monographs, owner of 2 patents.

Басакина И.М.

Научный сотрудник лаборатории сейсмологии Института экологических проблем Севера УрО РАН, кандидат технических наук. Специалист в области сейсмических методов обследования сооружений и территорий. Автор и соавтор более 20 научных работ, 1 монографии, 1 патента.

Basakina I.M.

The researcher of the Laboratory of Seismology of the Institute of Ecological Problems in the North of UB RAS, PhD. Expert in engineering seismology and data analysis. Author of more than 20 scientific articles and 1 monographs, owner of 1 patents.

Глотов В.А.

Инженер-строитель, аспирант Института физики Земли РАН, тема диссертации «Сейсмометрические исследования собственных колебаний зданий и сооружений», соавтор 5 научных работ.

Glotov V.A.

The Civil Engineer, a graduate student of Institute of Physics of the Earth Sciences of RAS. Thesis: «Seismic investigations of resonance frequencies of buildings and constructions». Author of more than 5 scientific articles.

Аннотация

Представлено описание сейсмометрического метода и результаты его применения для оценки состояния зданий и сооружений на примере обследования южной стены (прясла) Спасо-Прилуцкого монастыря (г. Вологда), расположенного в непосредственной близости от железнодорожной линии с целью оценки влияния вибраций от проходящих поездов на состояние стены и выбора мер по защите сооружения.

Abstract

The description of seismic methods and some results of its applying are represented by example of survey of the southern wall of St.-Priluki Monastery (Vologda), located near the railway line. The wall is damaged substantially. Objective: to evaluate the effect of vibrations from passing trains on the monastery wall and to select methods for its protection.

Ключевые слова

Вибрации, микросейсмы, собственные частоты и формы колебаний сооружения, граничные скорости, преломляющие границы, расчетная модель, динамические воздействия.

Keywords

Vibration, microseisms, eigen frequencies and modes of construction oscillations, boundary velocity, refractive boundary, computer model, dynamic influences.

Введение

Рост грузопотоков (в том числе увеличение грузоподъемности и скорости движения транспорта) обуславливает необходимость получения количественных оценок влияния транспортной вибрации на сохранность зданий и, особенно, архитектурных памятников. Действующие в настоящее время нормативы [1] регламентируют допустимые уровни вибрации определенного частотного состава. Для оценки опасности вибрации для конкретного сооружения этого недостаточно, т.к. практически не учитывается состояние сооружения. Важно оценить создаваемые дополнительные напряжения в теле объекта и соотнести их с расчетным сопротивлением материала конструкции или несущей способностью ее элементов. Любой вид транспорта является источником колебаний, которые через грунтовую среду передаются на расположенные вблизи магистралей сооружения, вызывая их вибрацию, приводя к изменению, как технического состояния зданий, так и к ухудшению комфортности пребывания в них людей. Колебания, создаваемые транспортом, можно рассматривать как одну из разновидностей сейсмических воздействий, для которых разработаны методы оценки влияния: спектральный подход или расчет с использованием акселерограмм.

Колебания, по мере удаления на различное расстояние от транспортного полотна, затухают неравномерно, поскольку представлены совокупностью сейсмических волн разных типов – объемных и поверхностных, ослабевающих по разным законам в зависимости от расстояния от источника. Уровень колебаний в точке наблюдения определяется интерференцией волн в разных точках. Кроме того, существенны свойства системы дорожное полотно-грунт-фундамент-надземная конструкция. Известно, что наблюдаемый уровень техногенных вибраций определяется всей совокупностью факторов, которые могут привести к усилению или снижению отклика на вибрационные воздействия. К факторам такого рода относятся: физико-механические свойства и строение грунтов, наличие подземных вод, состояние фундамента, его сочленения со зданием и пр.

Существующие в настоящее время теоретические методы оценки (компьютерное моделирование) преобразования внешних воздействий при переходе их из грунта в тело сооружения требуют задания ряда коэффициентов, описывающих физико-механические свойства самого сооружения, зоны контакта сооружения с грунтами основания и пр. Учитывая, что существует достаточно много моделей задания грунтов, которые трудно выбрать а priori, одним из реальных путей получения достоверной информации является выполнение специальных экспериментальных сейсмометрических исследований с применением современных методов обработки.

Описание эксперимента

Подобного рода исследования проводились нами в 2010 г. по просьбе и содействию настоятеля Спасо-Прилуцкого Димитриева монастыря в г. Вологде. Объектом исследования является южное прясло, находящееся в аварийном состоянии (рис. 1).



Рис. 1 – Внешний вид южного прясла Спасо-Прилуцкого монастыря, г. Вологда

Стена «оторвалась» от башен (система крупных трещин), имеет сильный крен в сторону внутреннего двора. В настоящее время считается, что стену поддерживают 5 контрфорсов, они также находятся в неудовлетворительном состоянии. Вдоль западной стены протекает р. Вологда, а на расстоянии порядка 170 м от прясла (объекта исследования) расположено активно эксплуатирующееся полотно Северной железной дороги (рис. 2).



Рисунок 2 – Фото района проведения работ [2]

Помимо практического значения для реставрации памятника архитектуры данные работы имели и фундаментальный аспект, связанный с проработкой методики сейсмометрических обследований зданий[3]. Практической целью работ было выяснить причины разрушения стены монастыря и оценить вклад вибрации от транспорта в ухудшение ее состояния.

Инженерно-сейсмометрические обследования представляют собой комплекс методик, включающий: наблюдение динамики обследуемого объекта (в том числе построение основных форм собственных колебаний); обследование грунтов оснований; задание расчетной схемы по результатам инструментальных сейсмических наблюдений, запись акселерограмм воздействий и отклика сооружения, расчет отклика модели на вибровоздействие.

Наблюдение динамики сооружения необходимо для оценки параметров, характеризующих движение точек объекта при собственных колебаниях или вследствие воздействий (динамических характеристик). Их определение является отображением состояния сооружения и необходимо для создания расчетной модели, наиболее приближенной к действительности. Получив такую расчетную модель, можно оценить вклад тех или иных воздействий на сооружение, в нашем случае – вибраций от железнодорожного транспорта, а также разрабатывать те или иные реставрационные мероприятия[4].

При задании расчетной модели закладываются следующие параметры: геометрия сооружения, его конструктивная схема, связь с другими объектами (в нашем случае к башням монастыря), способы закрепления в грунте и деформационные модули и коэффициент поперечной деформации грунта, прочностные характеристики стройматериалов, основные трещины и дефекты, статические

нагрузки действующие на сооружение. Необходимо также учесть, что каждому из параметров свойственны пространственные вариации, т.к. характеристики материала могут меняться вдоль стены (например, разная степень выветренности). При этом каждое изменение свойств отображается на картине параметров собственных колебаний (форм колебаний). Например, ослабление закрепления стены в грунте или «раскрепление» между башнями существенно снижает значения частот соответствующих форм собственных колебаний. Закрепление стены у башен дает нулевые перемещения в этих точках, а раскрепление – ненулевые.

Сейсмометрические наблюдения собственных колебаний и воздействий проводились:

- на прясле на доступном верхнем уровне (галерее), включая заход в башни, в нижних бойницах;

- на грунте – вдоль стены, пройден профиль от железной дороги к стене и далее по территории монастыря.

Применялось два типа сейсмометров: велосиметры CM-3KB со станцией КБС и акселерометры CMG-5T фирмы Guralp с регистратором GSR-24 фирмы GeoSIG[5]. Наблюдения велись по компонентам X, Y, Z, ориентация: горизонтальных компонент – вдоль и вкост стены. Длина прясла составляет 140 м, датчики ставились на галерее практически у каждой бойницы, т.е. с шагом 3.5 м. На полученных записях микросейсм интерпретировались следующие сигналы:

- собственные колебания стены;

- записи проходящих поездов (пассажирских, товарных).

Рассмотрим результаты анализа собственных колебаний стены. На рисунке 3 приведены спектры мощности колебаний, записанных велосиметрами в разных точках прясла, приведен интервал низких частот, содержащих первые формы собственных колебаний стены. Показана ситуация для горизонтальной компоненты вкост стены – в направлении наиболее «выразительных» собственных колебаний. Видно множество максимумов (пиков), тем не менее, можно отметить, что ряд пиков встречается постоянно, что позволяет нам отнести их к собственным колебаниям. Это пики на частотах 0.58, 1.75 и 3.5 Гц.

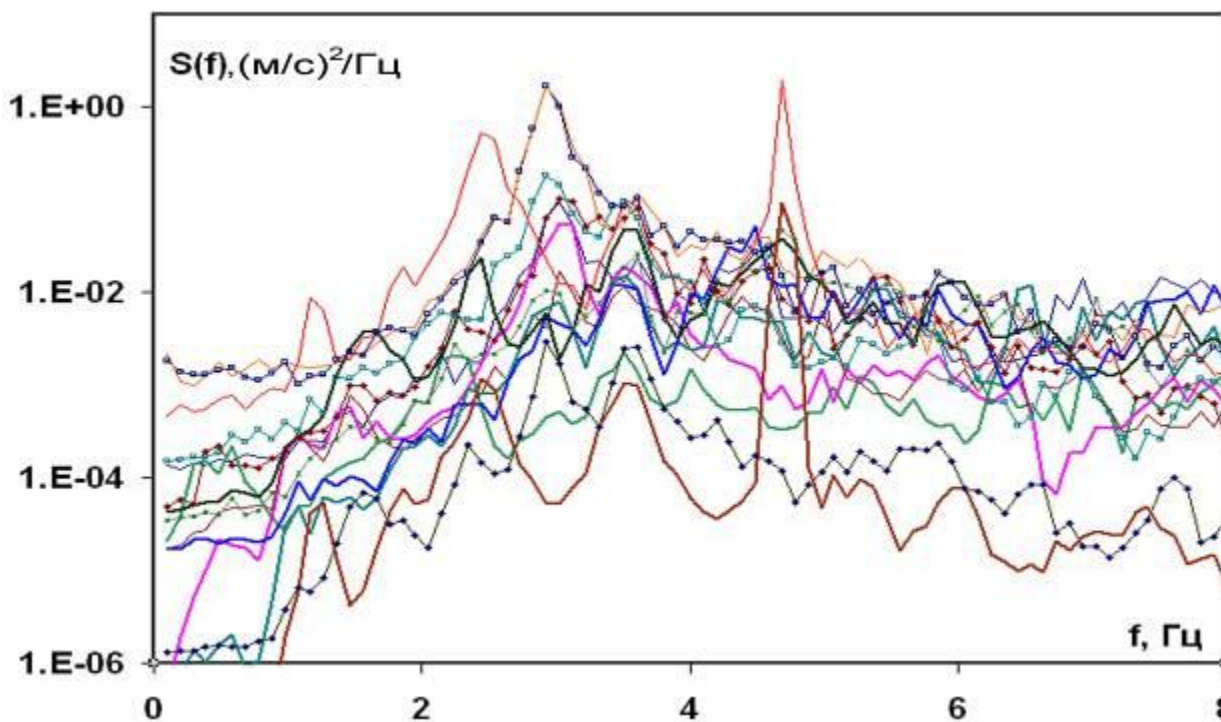


Рисунок 3 – Спектры мощности колебаний, записанных велосиметрами в разных точках прясла, компонента – горизонтальная вкост стены.

В соответствии с методикой анализа собственных колебаний[6] в каждой точке наблюдений для каждой из частот были определены амплитуды и фазы колебаний и построены экспериментальные профили форм колебаний (рис. 4). Эти кривые являются исходными для выбора модели из совокупности расчетных моделей, наиболее полно соответствующей эксперименту.

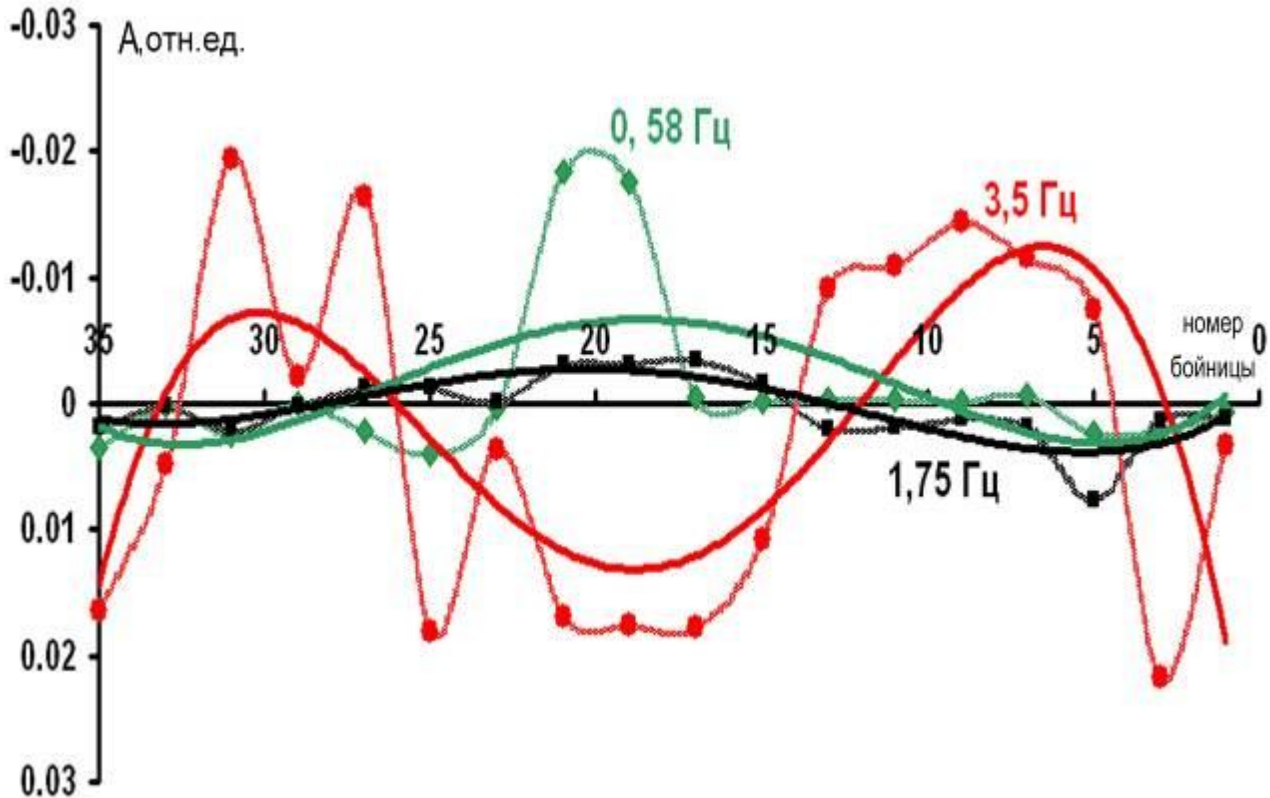


Рисунок 4 – Экспериментальные формы собственных колебаний на частотах 0,58, 1,75 и 3,5 Гц. Пунктир – профиль формы по точкам наблюдений, сплошная – полиномиальное сглаживание. Перемещения показаны в зависимости от номера бойницы, 0 - башня у реки

Анализ рисунка 4 показывает следующее:

- наблюдаются ненулевые перемещения в точках у башен (1 и 35 бойницы), причем наибольшие – для частоты 3,5 Гц, т.е. не для первых форм. Это говорит о том, что «раскрепление» прясла от башен не доходит до низа стены, что также соответствует видимым трещинам;
- формы колебаний имеют более изрезанный вид в левой части графика (бойницы 20-35), чем в правой (1-19), что говорит о большей целостности правой части прясла;
- на первой из наблюдаемой форм (зеленая кривая) отчетливо просматриваются ворота, заложенные в настоящее время кирпичом (по признаку ослабления конструкции и возможности ей совершать большие перемещения).

Отмеченные особенности инструментальных сейсмометрических наблюдений хорошо согласуются с визуальным анализом. Приведенные кривые на рисунке 4 являются ключевыми при подборе расчетной модели.

Воздействие вибраций от железнодорожного транспорта

Для оценки воздействия вибраций от железнодорожного транспорта измерения производилось на прясле и на грунте по двум типам профилей:

- ж/д насыпь - у прясла снаружи - за пряслом внутри монастыря;
- ж/д насыпь - у прясла снаружи – в нижней части стены – в верхней части у бойниц.

Эти наблюдения существенно было выполнять акселерометрами для получения реальной акселерограммы воздействия, которая затем задается в расчетную модель для определения дополнительных нагрузок от динамических воздействий транспорта.

Анализ воздействий начинается с выявления природы сейсмических волн, возбуждаемых поездом. Во-первых, тип волны можно определить по траектории движения частиц грунта, второй признак – закон ослабления амплитуды сейсмических волн по мере удаления от источника. Анализ проводился в трех плоскостях: горизонтальной вкрест и вдоль луча (источник-точка наблюдений) для собственных частот колебаний стены 1.75 и 3.5 Гц.

На рисунке 5 представлена траектория движения частиц вдоль луча как самая показательная в данном случае для определения природы волн. Видно следующее:

- вблизи источника наблюдается смесь объемных и поверхностных волн, при удалении от него – в основном поверхностные волны, что подтверждается малым ослаблением амплитуды с расстоянием;

- на частоте 1.75 Гц возбуждение вибраций, по-видимому, осуществляется горизонтальными воздействиями поезда на насыпь, на 3.5 Гц – вертикальными;

- обращает внимание резкое увеличение амплитуды колебаний на частоте 3.5 Гц внутри монастыря, что может быть связано как с интерференцией прямой волны с отражениями от противоположного прясла, так и с резонансными свойствами грунтовой толщи, что требует дополнительного анализа.

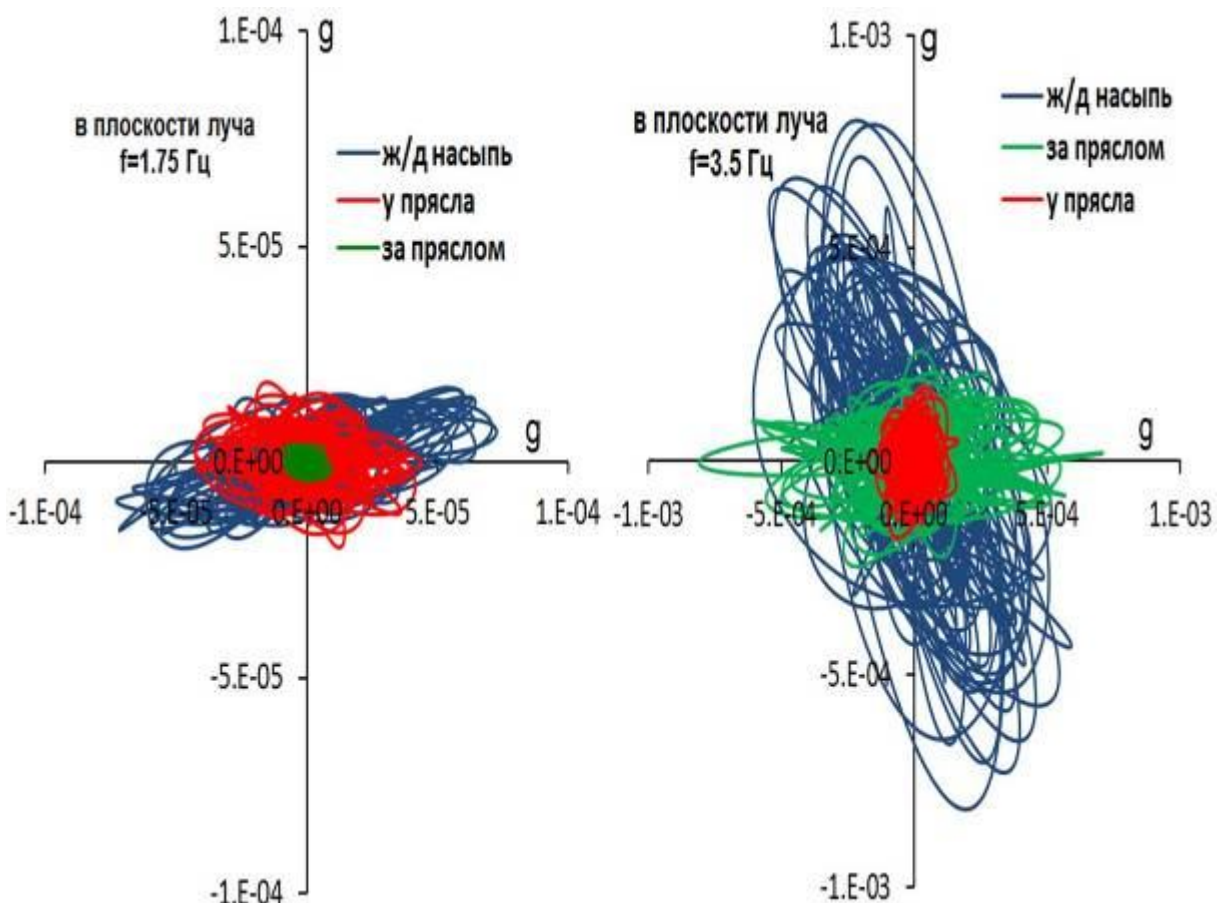


Рисунок 5 – Траектории движения частиц грунта (в единицах $g = 9.8 \text{ м/с}^2$) в плоскости луча от поезда для точек наблюдения вдоль профиля, перпендикулярного ж/д насыпи, частотная фильтрация 1.75 и 3.5 Гц

Перейдем к анализу спектров мощностей. На рисунке 6 представлены кривые, полученные при наблюдениях в верхней части стены в ключевых бойницах (крайних: № 2 и № 35, в середине № 20 и на $\frac{1}{4}$ от края – № 11).

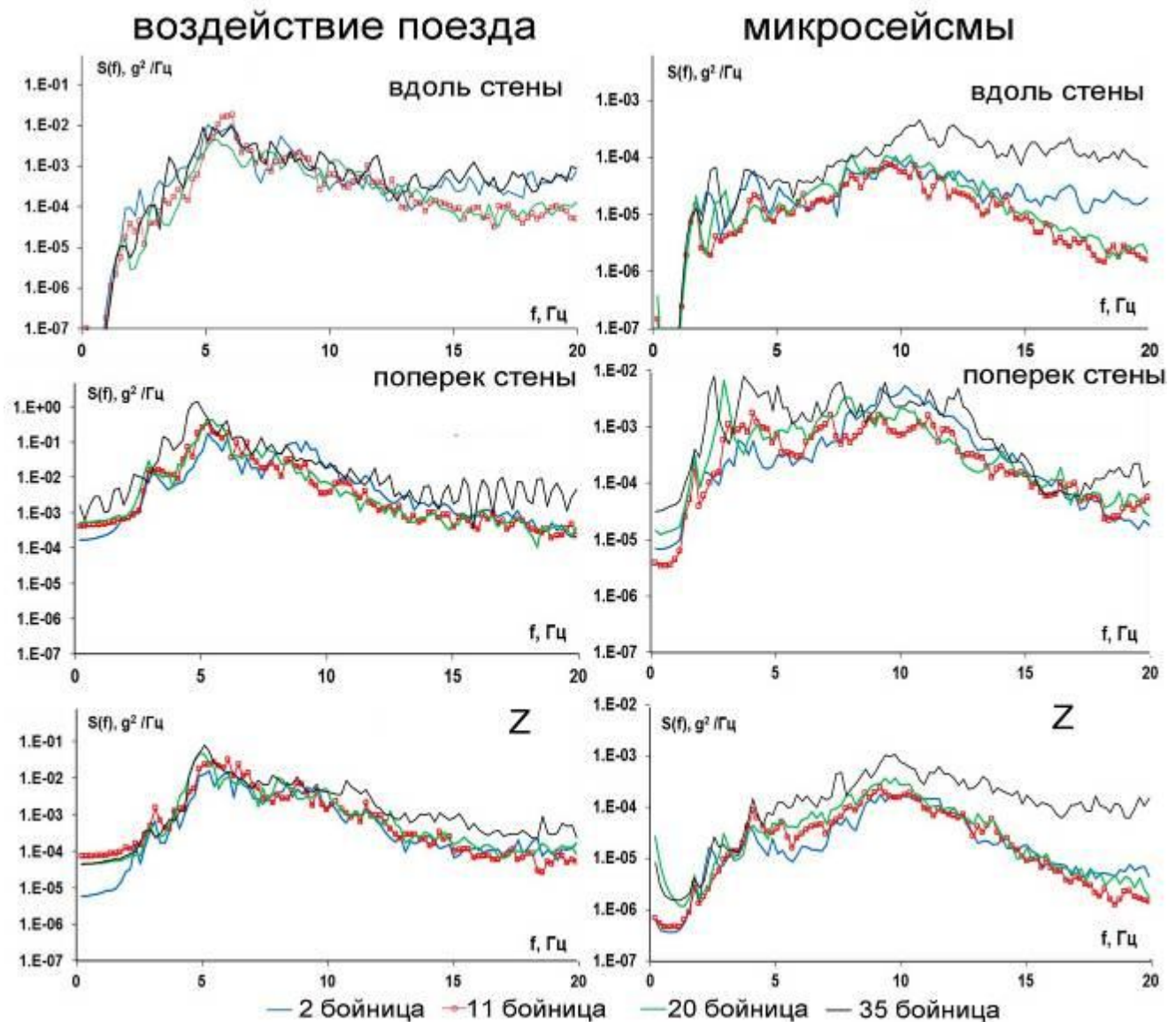


Рисунок 6 – Спектры мощности колебаний стены при прохождении товарного поезда и без него (микросейсмы), наблюдения в разных бойницах по компонентам вдоль, поперек стены и вертикальной (Z)

Сравниваются спектры мощности микросейсм при воздействии поезда и в спокойное время. Полоса частот, характерная для сигналов проходящего поезда по наблюдениям у насыпи, – от 3 до 10 Гц. Основное усиление колебаний в этом диапазоне происходит в направлении поперек стены, возрастание мощности колебаний примерно в 1000 раз (амплитуды в 30 раз). В других направлениях возрастание мощности отмечается примерно в 100 раз (амплитуды в 10 раз). Следует отметить, что полученные значения являются очень малыми для сейсмических воздействий, тем не менее, судить о влиянии вибраций от поезда можно, но только после расчета добавочных напряжений при задании акселерограммы сигнала от поезда в расчетную модель.

Для получения спектров реакции стены на воздействие был проведен следующий эксперимент. Акселерометры одновременно вели запись по профилю 2 в следующих точках: I – под ж/д насыпью, II – на грунте у стены, III – на стене в нижней части над точкой II, IV – на стене в верхней части над точкой II. Профиль 2 был отработан в двух вариантах расстановок, ориентированных: 1- на край стены (бойница №2) и 2 - на середину стены. Результаты представлены на рисунке 7, где показаны отношения спектров мощности для точек: IV/II, III/II.

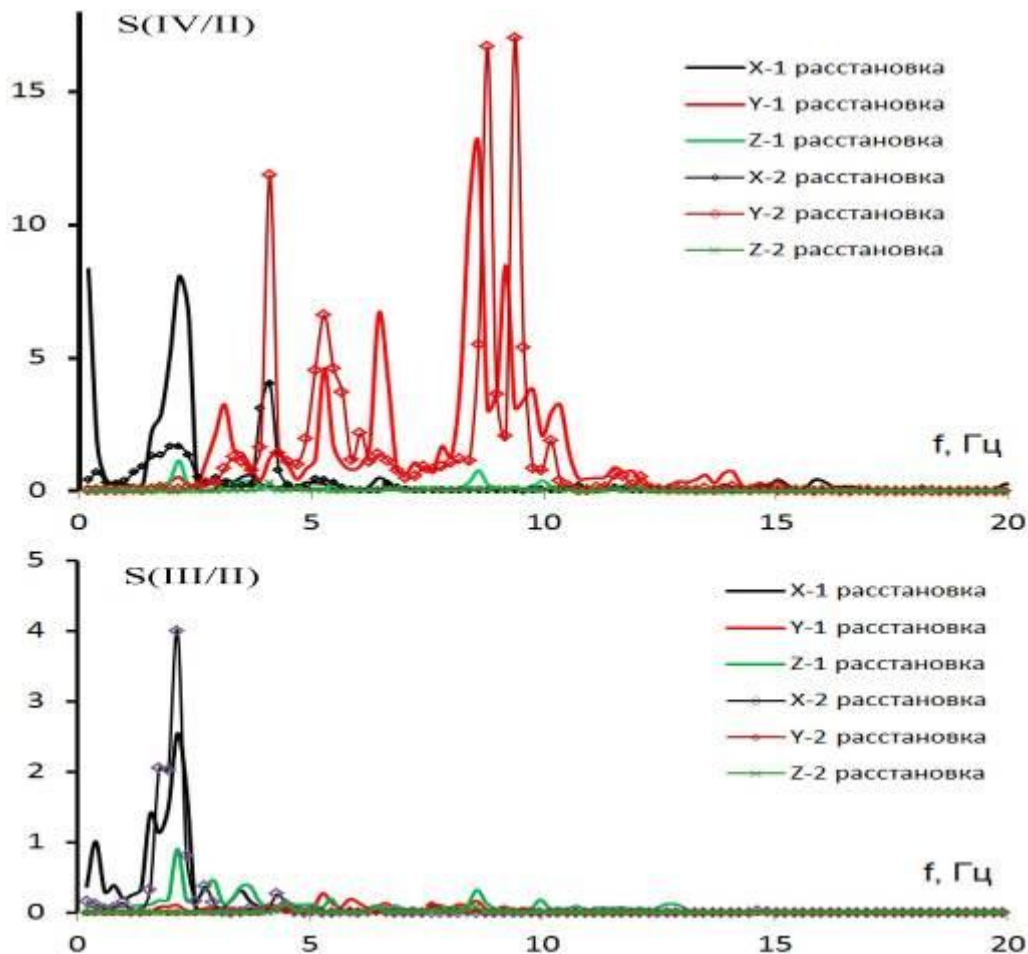


Рисунок 7 – Спектры мощности реакции стены на воздействия прохождения поезда, направления колебаний: X – вдоль стены; Y – поперек стены; Z – вертикальные

Анализ кривых показывает следующее:

- основные приращения наблюдаются вверху стены, что закономерно, т.к. именно в этом месте конструкция наиболее слабо закреплена;
- колебания в диапазоне от 3 до 10 Гц характерны для верха стены в направлении поперек нее, спектры реакции представлены резонансными пиками, что подтверждает усиление колебаний на собственных формах. Это же согласуется с увеличением реакции в середине стены по сравнению с краем (расстановки 1 и 2);
- усиление колебаний в верхней части стены на высоких частотах связано с «разбитым» верхом – наличием серии трещин, не доходящих до низа стены;
- для каждой из частотных составляющих приращения амплитуды при воздействии вибраций от поезда не велики – не более 4 раз;
- частоты с 1.5 до 2.5 Гц – диапазон собственных частот стены в целом по грубой оценке по спектру реакции.

Рассмотрим более подробно, как реагируют участки стены на вибрации от поезда (рис. 8). Видно, что спектры существенно различаются для правой и левой частей прясла, причем как в верхней части, так и в нижней. В верхней части прясла нарастание амплитуд в соответствующем диапазоне частот указывает на большую «разбитость» (больше трещин и частоты ниже, т.е. трещины длиннее) левой части стены, в правой части трещины мельче (выше частоты полученных пиков амплитуд). Это же отражено в отношениях спектров, записанных вверху к нижним – в правой части верх и низ стены работают по-разному уже с частоты 2 Гц.

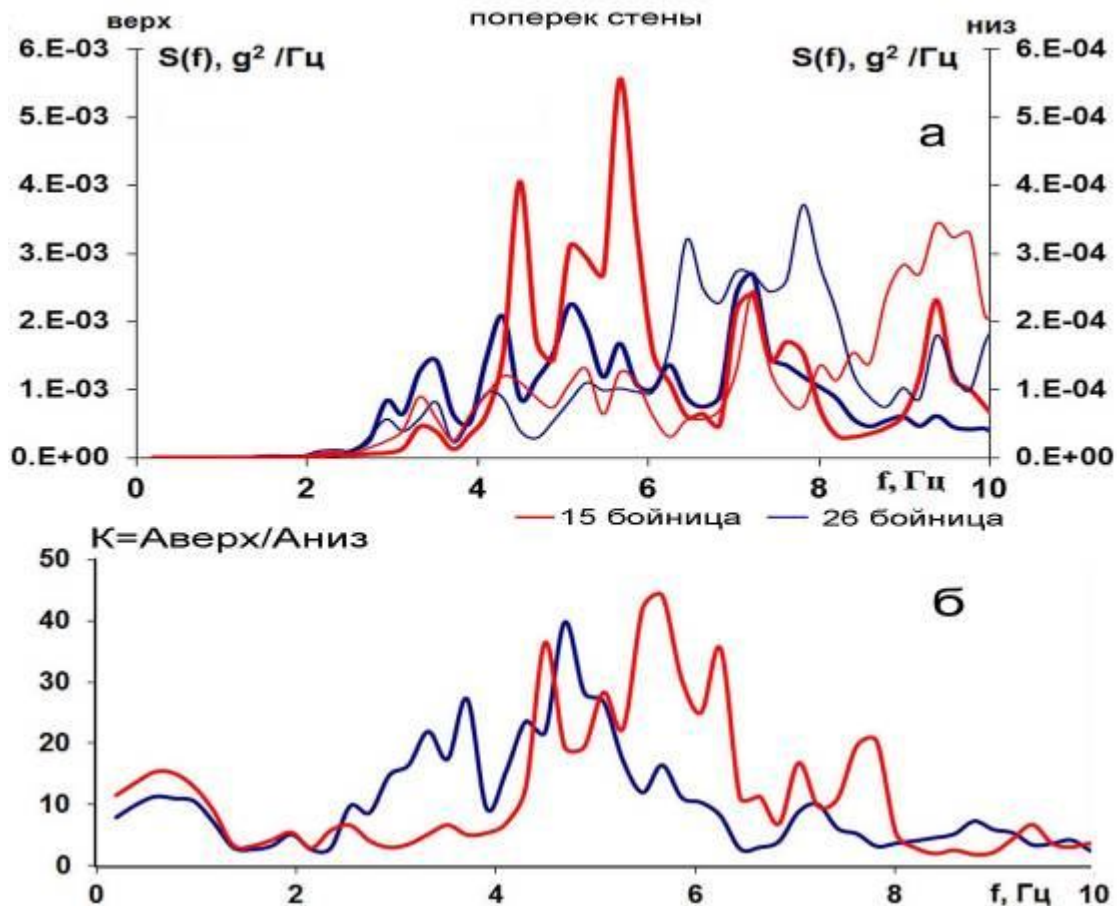


Рисунок 8 – Спектры мощности колебаний стены при прохождении поезда (а) и отношение спектров (б), полученных вверху к таковым внизу, регистрация одновременно в бойницах 15 и 26 – в верхних (толстая линия) и в нижних на стене, акселерометры, компонента поперек стены.

Аналогично на рисунке 9 рассмотрены воздействия вибрации от поезда на башни. Видно, что левая башня существенно больше «оторвана» от стены, чем правая.



Рисунок 9 – Спектры мощности колебаний стены при прохождении поезда, регистрация одновременно в верхней (толстая линия) и в нижней частях башни, акселерометры, компонента поперек стены

На рисунке 10 показаны пространственные распределения ускорений в нижней части стены при воздействии микросейсм и вибрации от поезда для одной из собственных частот (1.75 Гц). В этом случае усиление вибрации при прохождении поезда относительно уровня микросейсм получается больше – примерно в 200 раз, тем не менее, абсолютные величины воздействий крайне малы – до $10^{-3}g$. Амплитуды воздействий вдоль стены в горизонтальной плоскости изменяются мало, поэтому тут в расчете можно принять одинаковые жесткости закрепления в грунте. Ускорения по вертикали (и, следовательно, перемещения) у левой башни примерно в два раза больше, чем у правой, что совпадает с предыдущим результатом и указывает на «оторванность» башни от прясла.

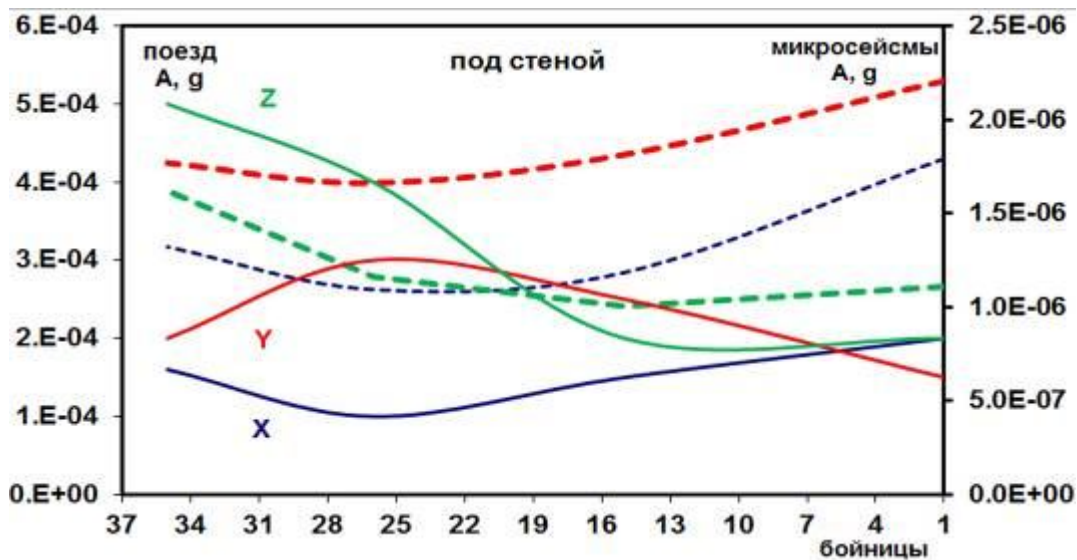


Рисунок 10 – Ускорения в нижней части стены при воздействии микросейсм (пунктир) и вибрации от поезда (сплошная), компоненты регистрации: вертикальная и горизонтальные вдоль и поперек стены, частота 1.75 Гц

На рисунке 11 приведена типичная акселерограмма, которая закладывалась в динамический расчет.

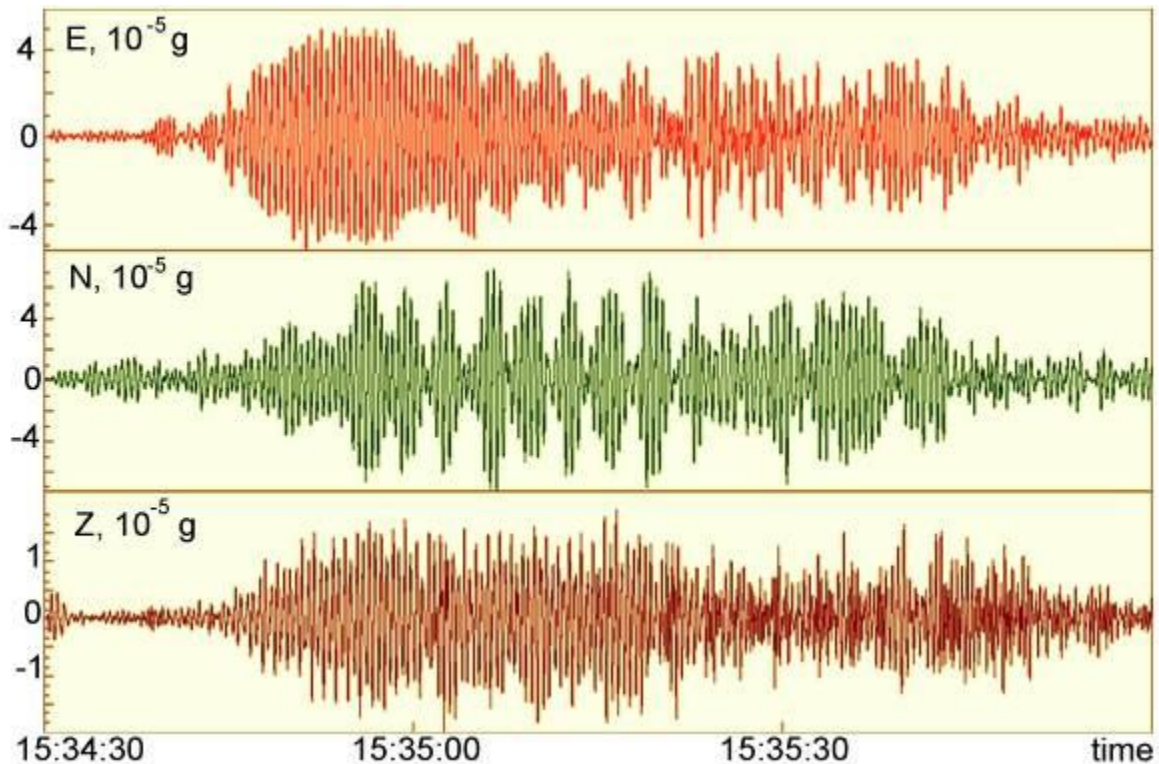


Рисунок 11 – Акселерограмма вибрации от поезда по компонентам:

вверху – вдоль стены; в середине – поперек стены; внизу – вертикальная

Приведенные результаты инструментальных наблюдений дают важные параметры для создания расчетной модели прясла, отражающей его реальное состояние, а также определяют собственные частоты и формы колебаний, что существенно для сопоставления результатов расчета с экспериментом и уточнения модели.

Обследование грунтового массива проводилось с применением малоглубинной сейморазведки методом преломленных волн (МПВ), результаты которой использовались в расчетной модели при задании условий закрепления объекта в грунте. На рисунке 12 разными цветами показано расположение профилей вдоль стены, на рисунке 13 – один из сейсмических разрезов.

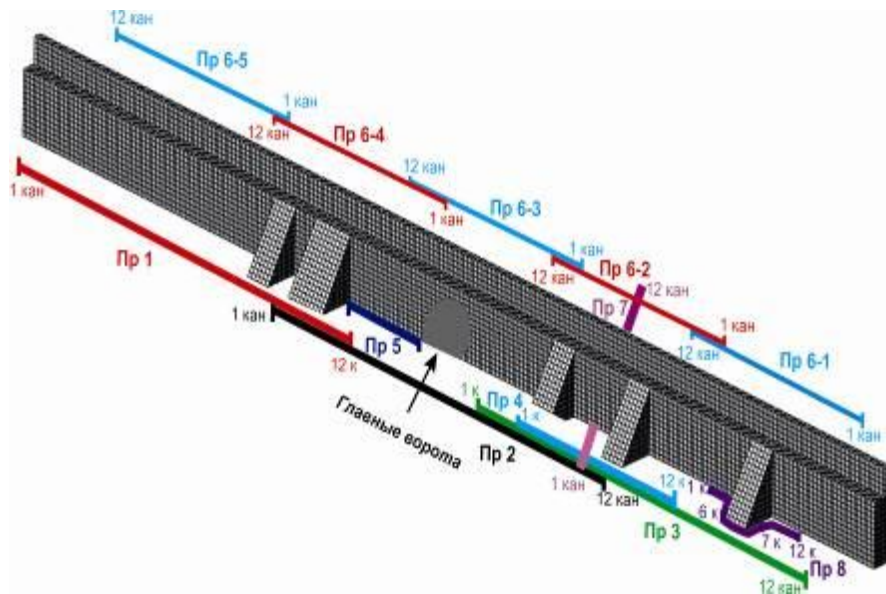


Рисунок 12 – Схема расположения сейморазведочных профилей у подножия стены

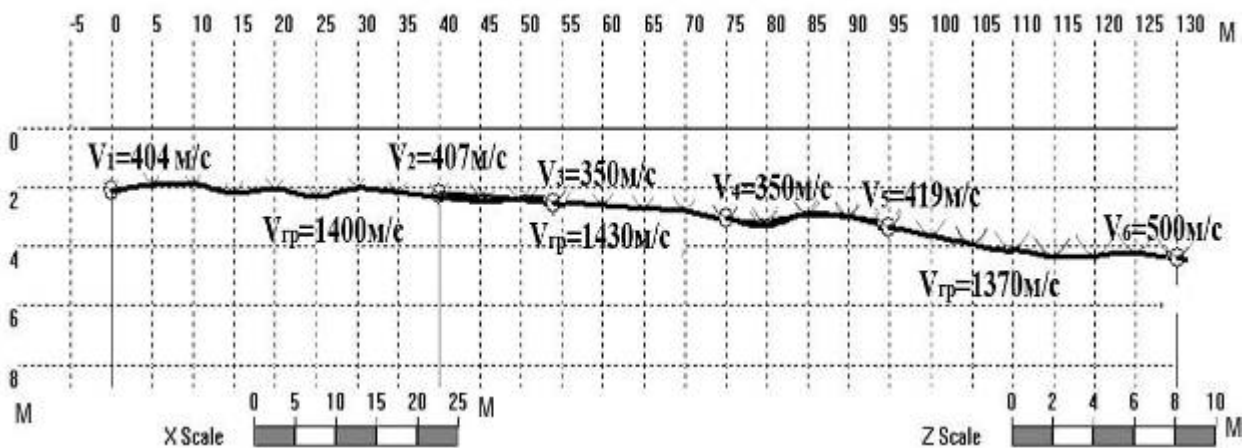


Рисунок 13 – Сейсмический разрез по ПР 1, 2, 3

Первая преломляющая граница (средняя скорость от 400 до 500 м/с) отделяет техногенный слой и пески, она имеет ярко выраженный наклон к реке. Возможно, это общее направление понижения к реке более древнего рельефа.

В целях изучения грунтов максимально близко к стене были проложены и отработаны ряд профилей: ПР 4, ПР 6 с шагом сейсмоприемников 2.5 м и ПР 5, ПР 7 и ПР 8 с шагом 1 м (рис. 12),

скорости по преломляющим горизонтам ПР 4, 5, 6, 7, 8 представлены в таблице 2. Разный цвет в таблице обозначает значения для прямого и встречного годографа для каждого профиля.

Таблица 2 – Распределение скоростей по профилям и расчет $E_{деф}$ по формуле (1)

№ ПР	V_{p1} , м/с	H_1 , м	$V_{гр}$, м/с	H_2 , м	$V_{p_{средняя}}$, м/с	V_{s1} , м/с	$E_{деф}$ (вод.пески), МПа	$E_{деф}$ (суглинки), МПа
1	404	2	1400	8	938	177	8	75
1	350	2	1400	8	875	187	9	71
2	407	2	1430	8	952	234	17	79
2	419	2	1430	8	965	234	17	80
3	385	3	1370	7	775	229	16	66
3	500	3	1370	7	900	231	16	76
4	316	2	1740	8	915	150	4	72
4	302	2	1740	8	891	159	5	71
5	520	2	1260	8	981	174	7	78
5	462	1.8	1260	8.2	961	189	10	78
6-1	396	3	1370	7	788	261	21	69
6-1	402	3	1370	7	795	267	22	70
6-2	402	3	1410	7	805	238	17	69
6-2	357	2.5	1410	7.5	812	240	18	70
6-3	371	2.5	1420	7.5	832	176	8	67
6-3	433	3	1420	7	843	180	8	68
6-4	405	3	1670	7	862	230	16	73
6-4	513	4	1670	6	878	230	16	74
6-5	432	4	1350	6	730	161	6	59
6-5	342	2	1350	8	849	162	6	68
7	381	2.3	1560	7.7	911	171	7	73
7	365	2.2	1560	7.8	907	176	8	73
8	553	3.2	1410	6.8	943	196	11	77
8	448	3	1410	7	858	198	11	71

По результатам МПВ были построены поля пространственного распределения параметров грунтов основания, существенных для задания в расчетной модели закрепления прясла в грунте (рис. 14). В качестве таких параметров используются скорости продольных (V_p) и поперечных волн (V_s) для деформируемого слоя. Величины V_s были получены путем выделения на записях поверхностных волн, определения их кажущейся скорости (V_R) и использования известного соотношения $V_R = 0.9V_s$. Отметим, что низкие скорости V_s характеризуют легкодеформируемый грунт. Последнее отражается в увеличении амплитуд колебаний сооружения при сейсмических (вибрационных) воздействиях, например от железной дороги. Увеличение мощности низкоскоростных слоев дает возможность развития большей осадки сооружения.

На рисунке 14 представлены пространственные распределения скоростей вблизи стены (две горизонтальные линии на рисунке отображают прясло монастыря в плане), на рисунке 15 – вариации скорости V_p по профилям вдоль стены: внутри монастыря и снаружи.

Их анализ показывает следующее:

- мощность верхнего низкоскоростного слоя увеличивается в сторону реки, что отражает геологию речной долины. Прослеживаются даже погребенные береговые террасы. В центральной части сооружения, в том числе под заложенными кирпичом воротами, мощность слоя также большая, чем

по бокам, что, возможно, является следом «продавленной» дороги, над которой «нарос» низкоскоростной культурный слой (обломки стройматериалов при закладке ворот). Отметим, что на ПР 1,2,3, граничная скорость на обсуждаемом участке также несколько больше, чем

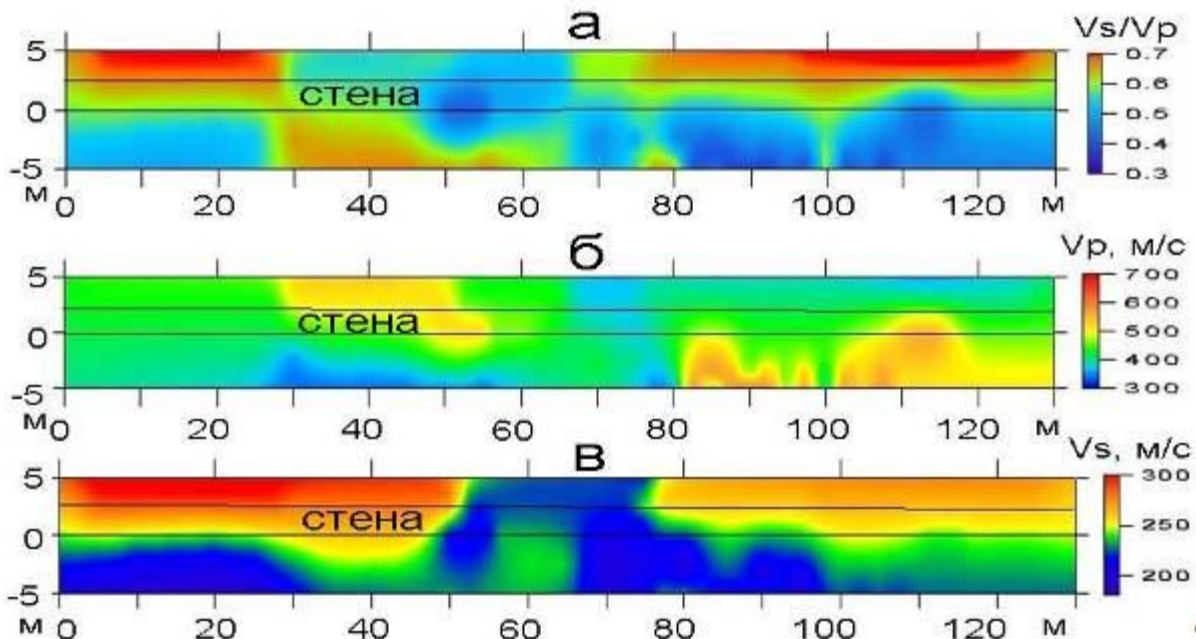


Рисунок 14 – Планы прясла с результатами пространственного распределения параметров верхнего слоя основания стены: а – V_s / V_p , б – скорости продольных волн (V_p), в – скорости поперечных волн (V_s)

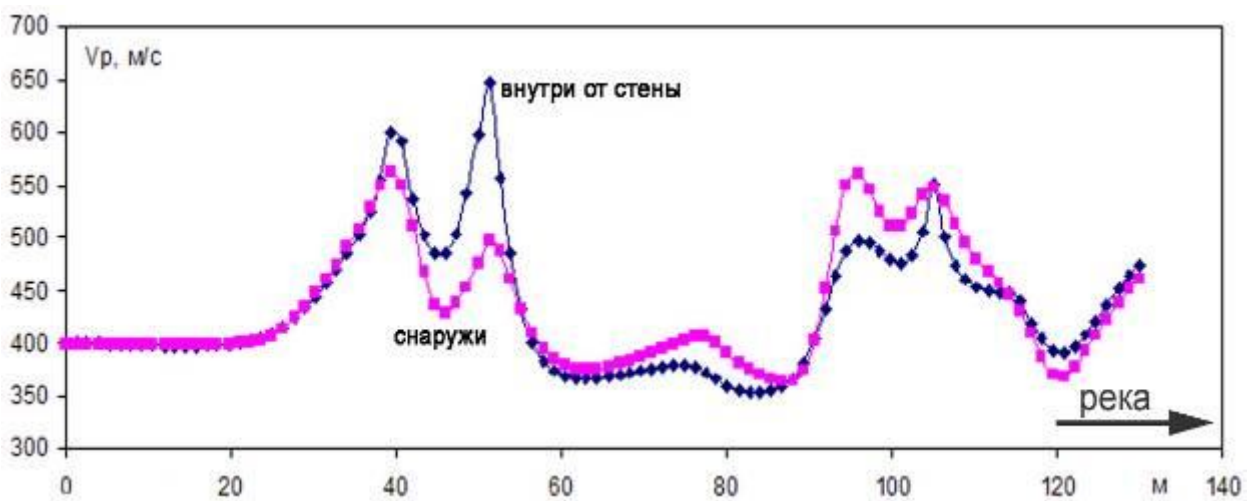


Рисунок 15 – Вариации скорости V_p по профилям вдоль стены: внутри монастыря и снаружи

по краям, средние скорости V_p с внутренней стороны стены несколько ниже, чем с внешней, хотя в отдельных точках – закономерность обратная. Средние скорости V_s для внутренней стороны прясла указывают на более слабые грунты, причем наиболее явно – в левой части и вблизи погребенной дороги. Отчетливо прослеживаются уплотнения грунта, созданные контрфорсами, причем как внутри стены (в местах их расположения), так и снаружи, что указывает на значительную по глубине область влияния этих элементов сооружения. Заметим, что слева контрфорсы разобраны, поэтому грунт частично «восстановился», что отражено в соотношениях кривых.

Таким образом, с внутренней стороны прясла грунты более «слабые» по деформационным свойствам и возможно ожидать большей осадки внутренней стороны стены.

Анализ сейсмометрических данных и вскрытие шурфа позволили предположить литологию слоев – это водонасыщенные пески и суглинки, техногенные отложения с песками и супесями, песчано-обломочные грунты. По отношениям V_S / V_P значения 0.3-0.6 соответствуют супесям и суглинкам (голубой цвет на рис. 14), 0.55-0.68 - пескам с галечником (зелено-оранжевый на рис. 14). Эта оценка литологии также использована для задания упругих свойств основания прясла.

Наиболее полно методика расчета деформационно-прочностных характеристик грунтов описана в нормативе[7]. Здесь даны различные эмпирические соотношения (1) для разных грунтов:

$$E_{\text{деф}} = 0.01452 \cdot 5V_p + 0.1985 V_s - 27 \quad \text{- пески неводонасыщенные}$$

$$E_{\text{деф}} = 0.1517 V_s - 18.9 \quad \text{- пески водонасыщенные} \quad (1)$$

$$E_{\text{деф}} = 0.0736V_p + 0.0562 V_s - 3.7 \quad \text{- суглинки четвертичные неводонасыщенные}$$

$$E_{\text{деф}} = 0.154 V_s - 12 \quad \text{- песчано-глинистые грунты неводонасыщенные}$$

Учитывая, что деформируемая толща под стеной может быть достаточно велика (до 10 м) по данным МПВ были рассчитаны средние скорости (V_{p_cp}), приведенные в таблице 2. Интервал изменения значений $E_{\text{деф}} = 6 - 22$ МПа, среднее значение - 17 МПа. При учете большей мощности деформируемого слоя получаем $E_{\text{деф}} = 59 - 80$ МПа. Воспользовавшись эмпирическими соотношениями между $E_{\text{деф}}$ и $E_{\text{д}}$ - динамическим модулем упругости (рис. 16), получаем возможные вариации $E_{\text{д}} = 20 - 1000$ МПа.

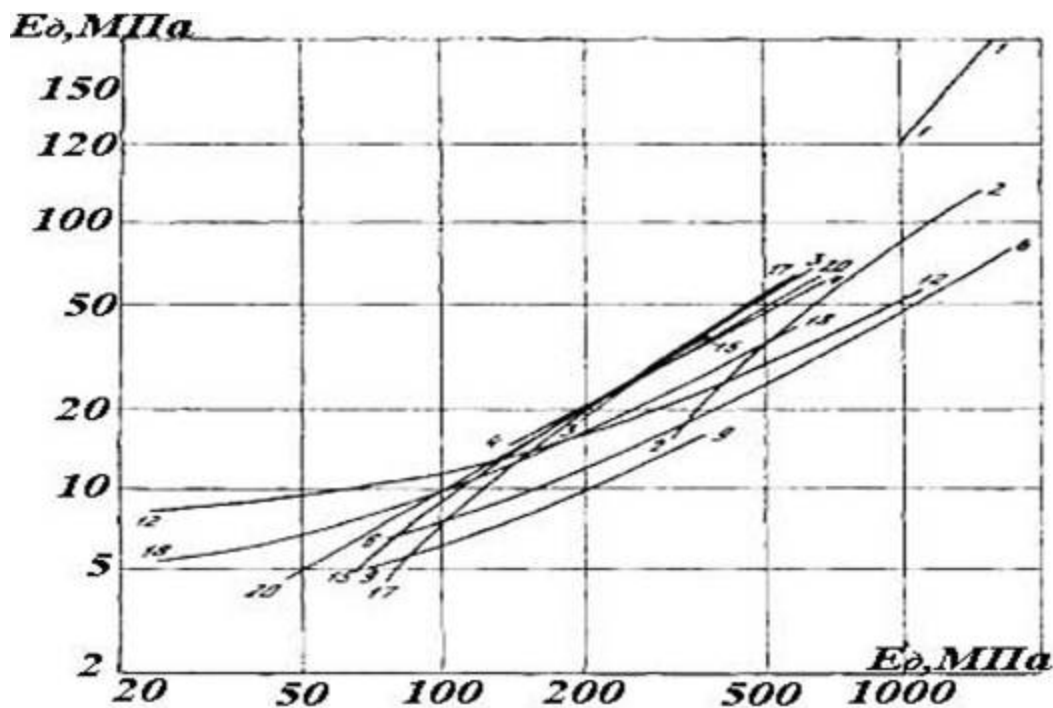


Рисунок 16 – Эмпирические соотношения между $E_{\text{деф}}$ и $E_{\text{д}}$ [8]

Сопоставление расчетных данных и натуральных наблюдений

Соотношение статического E_0 и динамического $E_{\text{д}}$ модулей Юнга $E_{\text{д}} = 0.8 E_0$ дает для статических расчетов значения $E_0 = 25 - 1250$ МПа. Приведенная оценка показывает, что даже небольшое изменение скоростных свойств грунтов за счет обводнения существенно – может изменить их несущую способность до двух порядков.

Подбор расчетной модели осуществлялся в два этапа: сначала по материалам обмеров задавалась упрощенная модель (см. рис. 12), а затем более детальная (рис. 17-18).

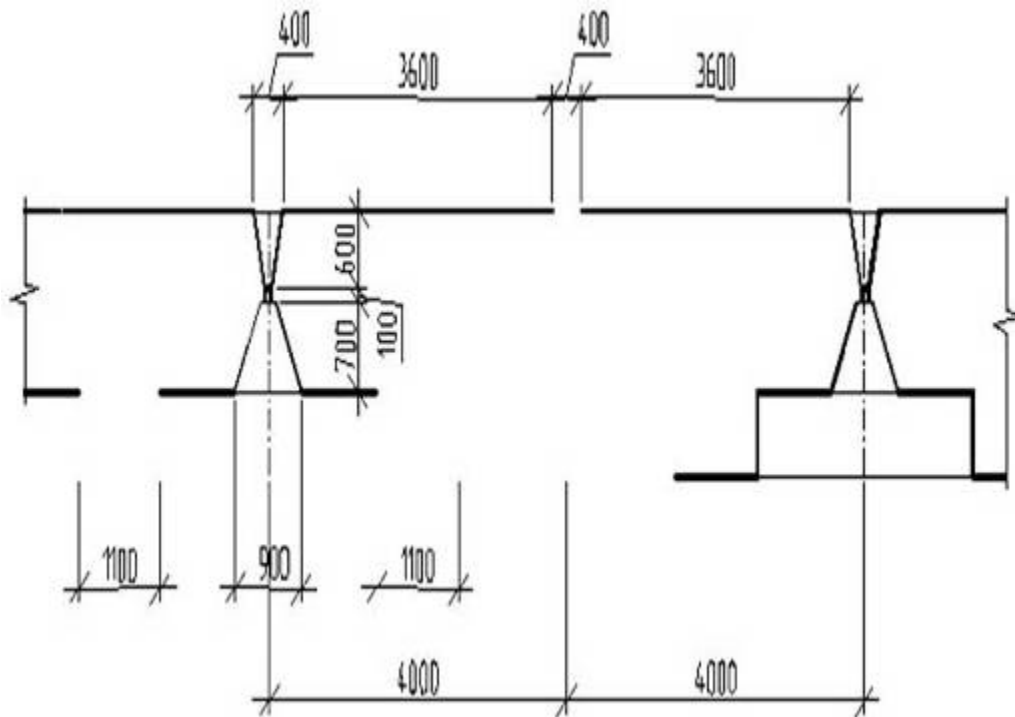


Рисунок 17 – Фрагмент характерного сечения стены

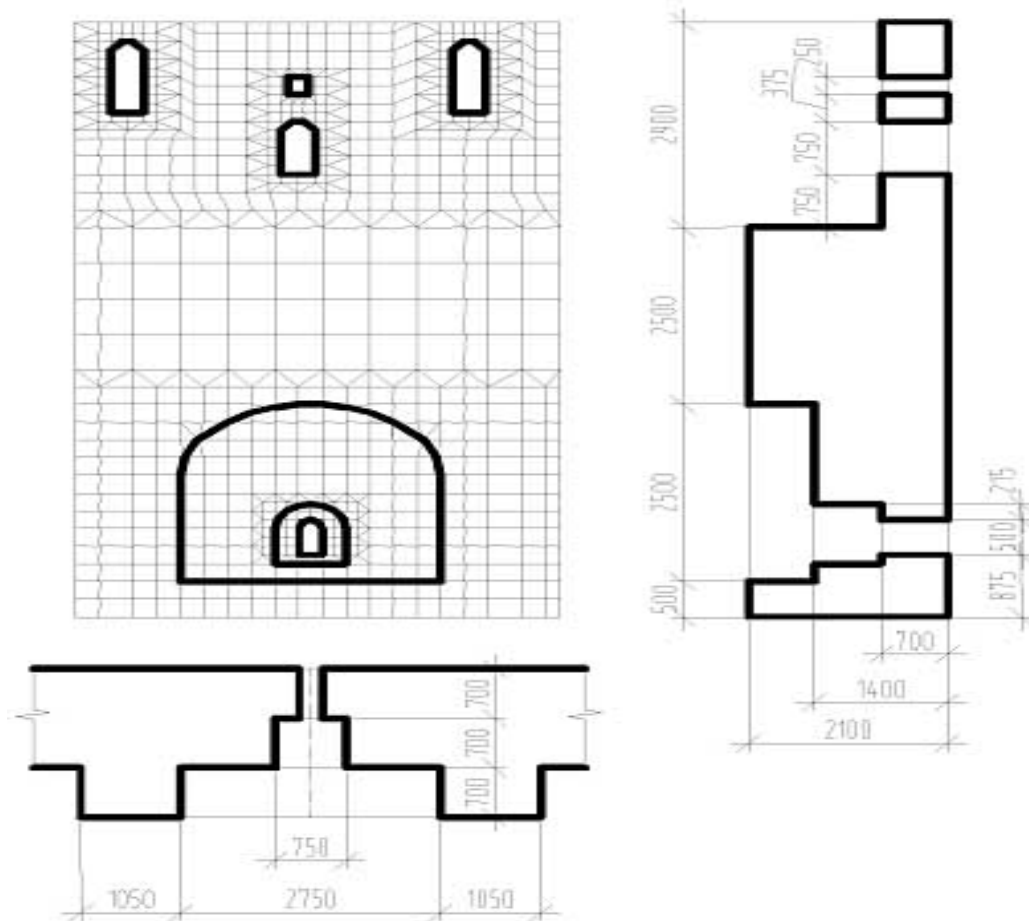


Рисунок 18 – Схема для расчета детальной модели с разбивкой на конечные элементы

Принятые в расчете характеристики каменной кладки по СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции»:

$R_u = 0.9$ МПа - расчетное сопротивление кладки сжатию (кирпич марки 50, раствор марки 25) (таб.2 из СНиП II-22-81*)

$R_t = 0.16$ МПа - расчетное сопротивление кладки растяжению при изгибе по перевязанному сечению (раствор марки 25) (таб. 10, СНиП II-22-81*)

- упругая характеристика кладки (таб. 15, СНиП II-22-81*)

МПа - начальный модуль упругости кладки (СНиП II-22-81*)

МПа - модуль упругости кладки при определении периода собственных колебаний (СНиП II-22-81*)

МПа - модуль упругости при расчете кладки по прочности (СНиП II-22-81*)

МПа – модуль сдвига кладки (п. 3.27, СНиП II-22-81*)

- коэффициент ползучести кладки (п. 3.23, СНиП II-22-81*)

- коэффициент поперечной деформации кладки

Подбор характеристик основания в модели уместно рассмотреть совместно с решением статической задачи.

Рассмотрение статической задачи дает возможность оценить поля напряжений в теле объекта. Основной нагрузкой является вес сооружения. Мерой «правильности» подбора расчетной модели является совпадение значений собственных частот – расчетных и наблюдаемых, а также профилей перемещений точек тела при его собственных колебаниях. Расчет динамической задачи с приложением вибрационных воздействий показывает, какие величины напряжений добавляют эти воздействия к уже имеющимся статическим. Суммарное напряжение сравнивается с расчетным сопротивлением материала, тем самым судят о «вредности» вибраций.

Статическая задача. Современное состояние прясла – наклон, изгиб в средней части и пр., показывает, что изначально «правильная» конструкция претерпевала изменения, причем именно вследствие статических нагрузок. По опыту строительства (*Пашкин, 2005*), наиболее вероятной причиной современного состояния прясла является ослабление фундамента или нарушение (либо изначально недоучет) свойств грунта основания. Принимая во внимание то, что для площадки характерны слабые грунты, мы попробовали смоделировать ситуацию, приведшую прясло в современное состояние.

Моделирование велось для упрощенной модели прясла. На рисунке 19 показан разрез стены и поля перемещений, полученные в результате расчета. Для моделирования ситуации с внешней стороны стены задавались относительно плотные грунты ($C_1 = 200$ т/м², $C_2 = 1000$ т/м²), а внутри – очень слабые (например, обводненные), ($C_1 = 1$ т/м², $C_2 = 5$ т/м²). Решение статической задачи дает правдоподобную картину: стена наклонилась в «нужном» направлении, причем на достаточно большой градус (2°). По существу, мы задали очень слабые грунты внутри стены для того, чтобы не рассматривать процесс ее деформирования во времени и «набор» современного состояния наклона. Кроме того, картина тангенциальных напряжений (нижняя часть рисунка) объясняет возникновение трещин вблизи башен, наблюдаемых сейчас.

Рассмотрим решение статической задачи для более детальной модели с учетом башен. Были приняты единая модель грунта для всего основания со следующими характеристиками: осредненный модуль упругости $E = 17$ Мпа и коэффициент Пуассона грунта $\nu = 0.32$.

В качестве основания в расчетной модели было выбрано упругое основание по Пастернаку характеризующееся двумя коэффициентами постели (податливость основания по вертикали и по горизонтали).

$$C_1 = \frac{0.138 \cdot E}{1 - \nu^2} = 2.61 \text{ МПа}$$

$$C_2 = 2 \cdot C_1 = 5.23 \text{ МПа}$$

В результате расчетов была получена следующая картина деформации основания (рис. 20). На рисунке 21 приведена пространственная картина деформации основания в районе башни.

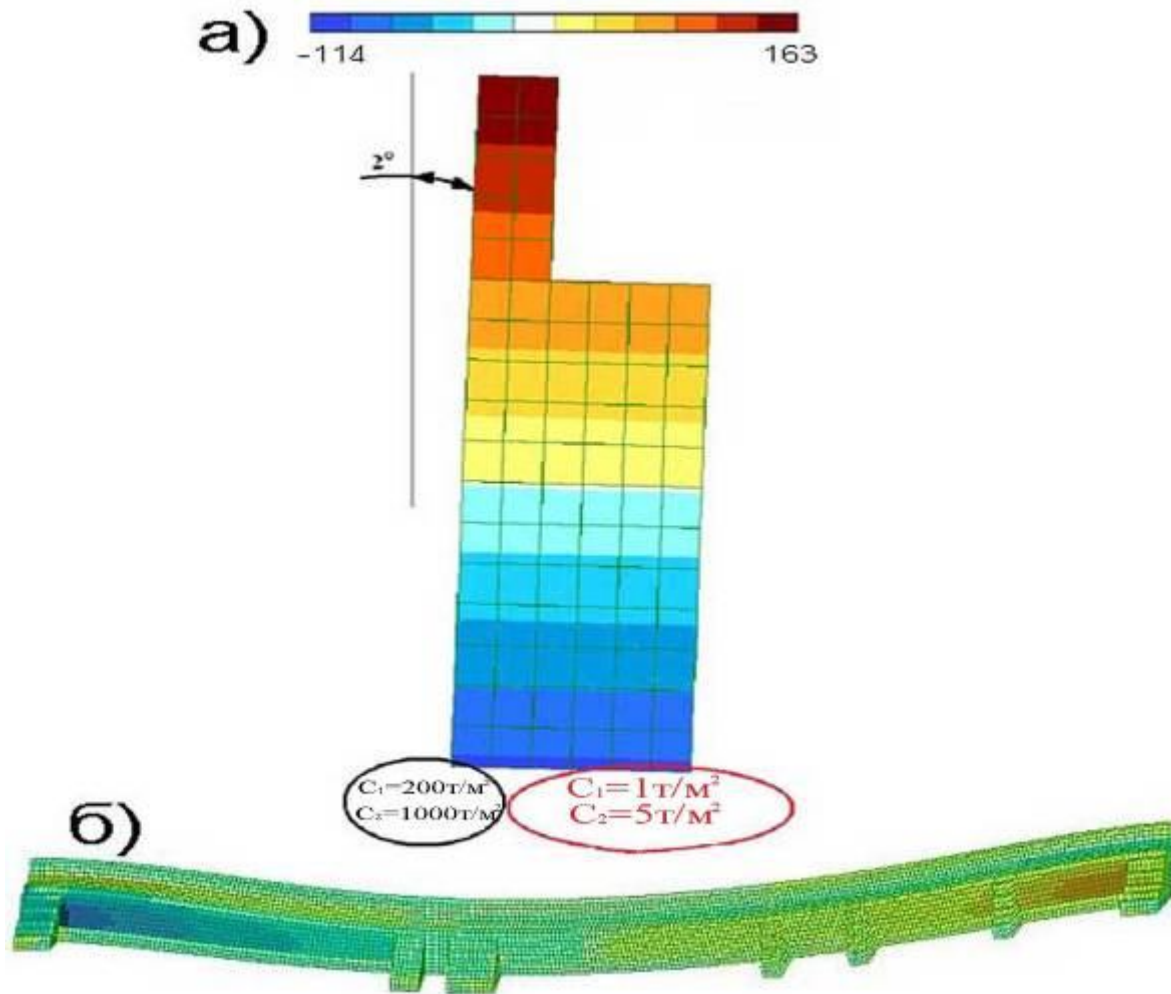


Рисунок 19 – Решение статической задачи перемещения стены при ослабленном грунте, а – разрез по пряслу, картина перемещений, в верхней части показана шкала в мм; б – пространственное распределение тангенциальных напряжений в прясле, ответственных за появление трещин, наблюдаемых в настоящее время

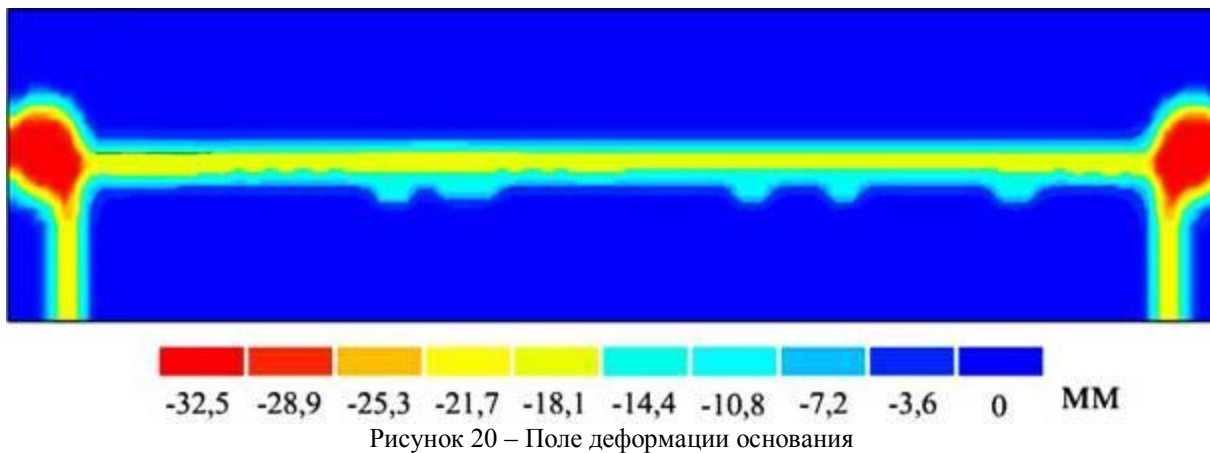


Рисунок 20 – Поле деформации основания

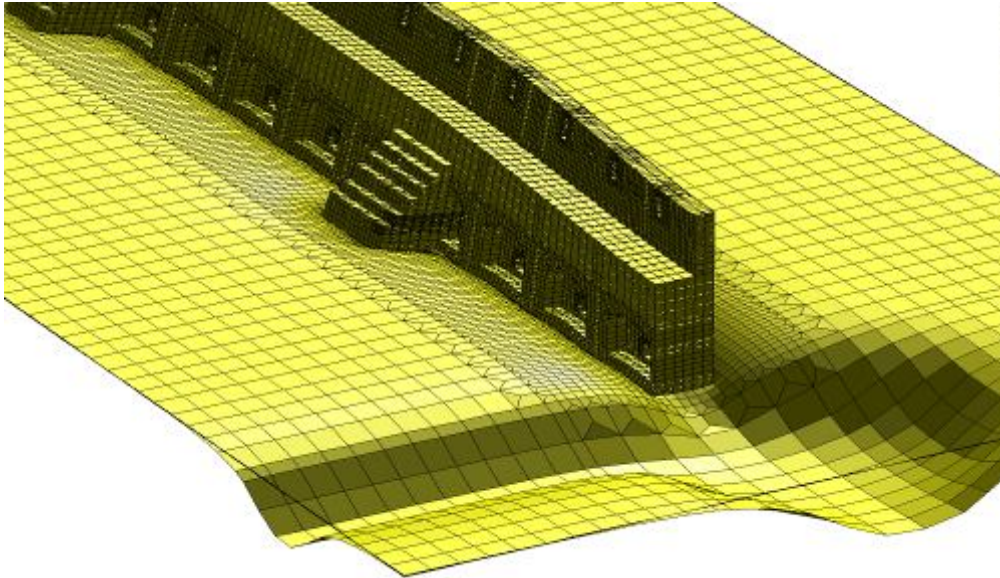


Рисунок 21 – Деформация основания в районе башни, статическая задача

Анализ решения статической задачи показывает, что причину возникновения трещин в стене следует искать в недостаточной несущей способности фундаментов сооружения. В записях из архива, предоставленных научными сотрудниками монастыря, есть упоминание "...во время ледохода напор льда был так велик, что повредило кирпичную кладку на фундаментах...". Таким образом, при разливе реки уровень воды может значительно подниматься, что непредсказуемо скажется на физико-механических характеристиках грунтов и приведет к ослаблению фундамента.

Из исторических записей также следует, что башни были возведены через 10-15 лет после окончания строительства стены. Это могло привести к дополнительной осадке фундаментов части стены примыкающей к башне и образованию трещин в наиболее ослабленных проемами местах (рис. 22). Такие кулисообразные трещины отчетливо видны на стене.

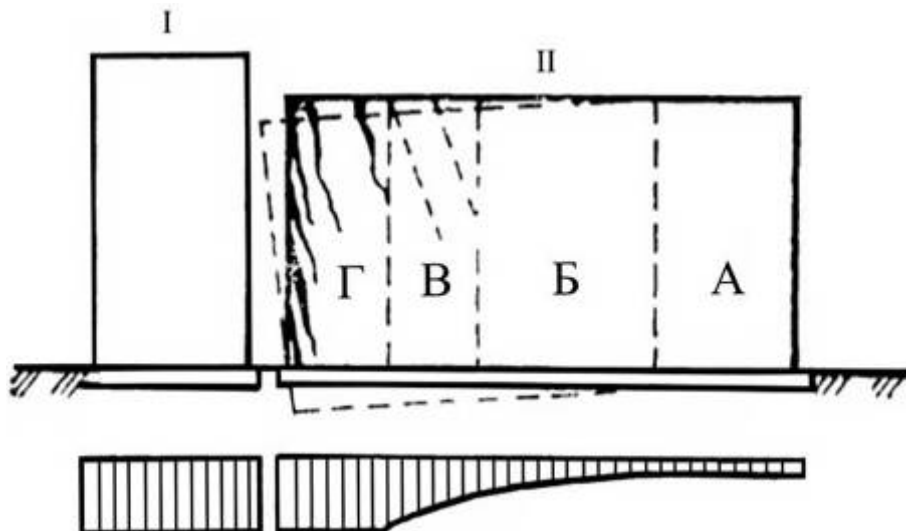


Рисунок 22 – Схема силового воздействия строящегося здания (I) на уже существующее (II), расположенное в пределах воронки оседания. А-Г – зоны повреждения конструкции[9]

Статический расчет дает также формы собственных колебаний, частоты которых приведены в таблице 3 для моделей: упрощенной (У), детальной (Д) и детальной с раскреплениями (трещинами у башен - Д1). Видно, что значительная детализация модели не на много меняет значения собственных частот, более важным является ослабление закрепления.

Таблица 3 – Частоты форм собственных колебаний (f, Гц)

№ формы	Модель У	Модель Д	Модель Д1
1	1.53	1.43	1.26
2	1.93	1.63	1.40
3	2.04	1.76	1.50
4	2.12	2.13	1.84
5	2.38	2.43	2.03
6	2.7	2.81	2.37
7	3.25	3.19	2.70
8	3.34	3.60	3.07
9	4.03	3.66	3.45
10	4.9	3.68	3.63
11		3.74	3.64
12		3.95	3.69

Динамическая задача – воздействия железнодорожного транспорта

Рассмотрим деформацию стены от динамического воздействия при задании реальной акселерограммы от поезда на расчетную модель. Наиболее опасное направление динамического воздействия - вдоль оси Y (поперек стены). Расчет показывает, что динамический отклик системы распределяется следующим образом:

- 48.37% - составляющая по оси Y от первой формы;
- 24.13% - составляющая по оси Y от третьей формы;
- 6.04% - составляющая по оси Z от третьей формы.

На рисунке 23 приведены перемещения, полученные в расчете. Максимальное равно 10 мкм (10^{-5} м) в центре прясла. Нагрузки, полученные в результате динамического расчета по трехкомпонентной акселерограмме от воздействия проходящего поезда оказались достаточно малыми. Порядок усилий, полученных в стене, составляет $10^{-2}..10^{-3}$ Н/м², что значительно меньше нагрузок от собственного веса конструкций и временных нагрузок.

Из этого следует, что вибрации от поезда не могут быть основной причиной разрушения прясла.

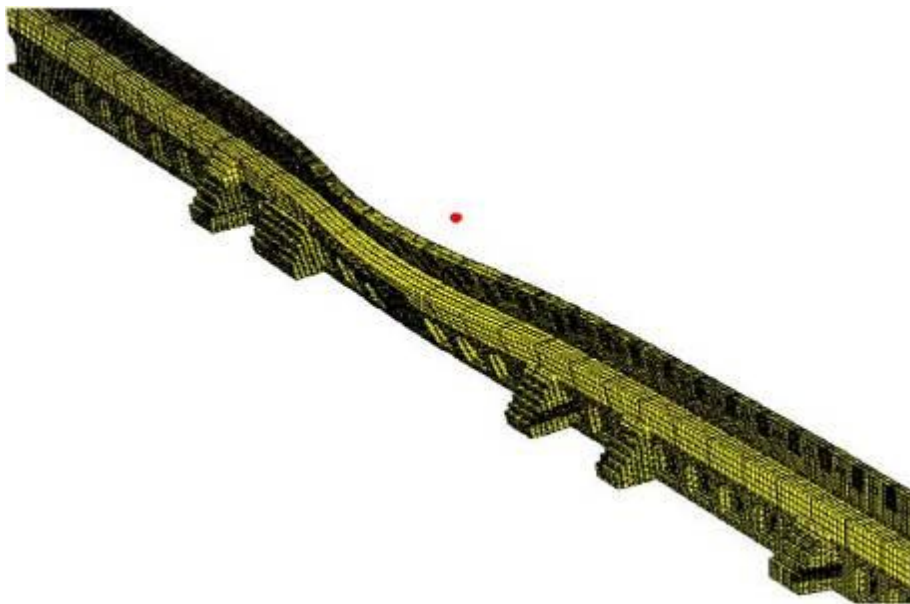


Рисунок 23 – Картина перемещений при воздействии вибраций от поезда (только динамика без учета собственного веса)

Выводы

На конкретном примере показано применение комплекса инженерно-сейсмометрических методик для оценки состояния зданий и сооружений, позволившего получить важные практические результаты о состоянии и путях реконструкции южного прясла Свято-Прилуцкого монастыря, г. Вологда.

Инженерно-сейсмометрические обследования состояния конструкций и грунтов основания показали следующее.

1. Конструкции прясла находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют ремонта и реставрации.

2. Основная причина развития трещин, отклонения от вертикали и изменения линейности по горизонтали связана с взаимодействием стены с грунтами основания. В связи с этим требуется обследование фундамента и его укрепление. Рекомендуется также провести мероприятия по укреплению грунтов основания комплексом технологических (искусственное усиление) и гидрогеологических (частичное обводнение) работ.

3. Работы по укреплению фундаментов необходимо сочетать с вычинкой стен, максимально возможным устранением неперпендикулярности, возможно – с раскрытием арочного проезда в центральной части стены.

4. Реставрационные работы должны сопровождаться проведением моделированием на расчетных моделях, для которых мы готовы предоставить уже составленные модели.

1. Вибрации от железнодорожного транспорта в данном случае не оказывают воздействия, способного приводить к разрушению прясла даже на длительном интервале времени воздействия. Установка виброзащиты не рекомендуется.

Сноски

[1] например, СНиП 2.07.01-89;

[2] по материалам <http://maps.google.ru/>;

[3] Юдахин и др., 2009; Сейсмологические исследования..., 2011;

[4] Пашкин Е.М., 2005;

[5] описание аппаратуры, методики наблюдений и обработки приведены в Юдахин и др., 2007, Сейсмологические..., 2011;

[6] Юдахин и др., 2007, Сейсмологические..., 2011;

[7] Аникин и др., 1985;

[8] Аникин и др., 1985;

[9] из Сотников и др., 1986.

Библиография

1. Аникин О.П., Горшенин Ю.В., Козлов А.М. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами // ЦНИИС Минтрансстроя СССР. М., 1985.
2. Пашкин Е.М. Инженерная геология: Учебное пособие // М.: Архитектура, 2005. 264 с.
3. Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Под. ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 244 с.
4. Сотников С. Н., В. Г. Симагин, В. П. Вершинин Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений: (Опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР) /; Под ред. С. Н. Сотникова. — М.: Стройиздат, 1986. 96 с
5. СНиП 2.07.01-89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. М., 1994. 40 с.

6. СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
7. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий // Екатеринбург: УрО РАН. 2007. 156 с.
8. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н., Шахова Е.В., Басакина И.М., Янович А.А. Способ определения физических параметров здания и/или сооружения. Патент RU 2365896. 2009.

Мониторинг прочности магистральных трубопроводов по малому числу планово-высотных отметок Monitoring of toughness of main pipe lines on small number planned-high-altitude mark

УДК 622.692.4

Котляревский В.А.

Научно-образовательный центр исследования экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) Московского государственного технического университета (МГТУ) имени Н.Э. Баумана. Главный научный сотрудник НОЦ ИЭС, д-р т.н., проф., академик ВАНКБ и МАИ.

Kotlyarevsky W.A.

Extreme Situations Research Center of Bauman Moscow State Technical University, Moscow.
Lead researcher of Scientific Educational Center of Extreme Situations Analysis.

Аннотация:

Рассмотрены методы оценки прочности подземных трубопроводов с поворотами на стыках линейных участков с учетом пластических деформаций по малому числу планово-высотных отметок.

Summary:

Considered methods of evaluation of toughness of underground pipe lines with tumblings on buttings of single-line areas with provision for plastic deformation on small number planned-high-altitude mark.

Ключевые слова

Трубопровод, высотные отметки, углы смежности, кривизна, напряжения изгиба, предел текучести, сплайн-аппроксимация.

Key words

Pipe line, high-altitude mark, corners of adjacency, curvature, voltages, limit of fluidity, spline – approximation.

Оценка прочности заглубленных магистральных трубопроводов (МТ) обычно осуществляется расчетом, в основном, посредством компьютерного моделирования. В [1, 2] рассмотрен ряд алгоритмов и программных средств по анализу напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопроводов в различных геологических и температурных условиях, в частности, проложенных в сейсмически активных регионах. Наиболее распространен двумерный прочностной расчет трубы в плоскости $xу$, нормальной ее оси z по схеме «плоской деформации» с определением осевых напряжений в конкретном сечении z_i , в том числе – от локальной кривизны оси $K(z_i)$.

Алгоритмы основаны на классических методах механики сплошной среды, теории упругости и строительной механики, реализующих как статические, так и эволюционные (динамические)

задачи. Объективность НДС обеспечивается достоверностью начальных и граничных условий по конкретной геометрической и физической информации для вмещающей грунтовой среды, труб и транспортируемого продукта, а также по температурным и кинематическим (сейсмическим) воздействиям.

Большинство перечисленных факторов устанавливают достаточно достоверно. Исключение составляет сейсмическая информация и начальные искривления осевой линии МТ. В условиях дефицита сейсмических данных применяют специальные программы – генераторы синтетических акселерограмм, нормированных на заданную сейсмичность, создающие банки сеймики на основе амплитудных частотных спектров прошлых землетрясений [3].

В предположении о начальной прямолинейности всех участков осевой линии МТ, со временем при меняющихся внешних условиях и под различными воздействиями неизбежно некоторое искривление осевой линии, что весьма сложно предвидеть теоретическим анализом. По-видимому единственно надежным методом установить кривизну возможно на основе регистрации плано-высотных отметок вдоль оси подземного МТ¹. Далее рассмотрены методы обработки такой информации для определения соответствующих кривизнам изгибных деформаций и напряжений при малом числе замеров с большими интервалами по координате. От искривлений в границах упругих деформаций остаточный ресурс по энергетическому условию прочности в сечениях z_i вдоль трассы МТ определяется по тензорам напряжений с компонентами от локальной кривизны $K_i(z_i)$ (а за пределом текучести – остаточный упругий ресурс) – независимо от поля давлений и напряжений МТ в плоскости, ортогональной осевой линии.

Важность проблемы регистрации положения МТ состоит в том, что опасные напряжения изгиба с пластическими деформациями возможны при небольших искривлениях оси трубопровода. В табл. 1 приведены значения фибровых напряжений σ в стальных трубах с модулем упругости $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа в зависимости от кривизны K , из которой видно повышение опасности искривлений с ростом диаметра труб D . Не зависящие от толщины стенки трубы напряжения в пределах $0 < \sigma \leq \sigma_T$ определялись по формуле $\sigma = \frac{1}{2}EKD$. Для стали класса прочности К56 предел текучести $\sigma_T = 410$ МПа, для класса прочности К60 $\sigma_T = 440$ МПа.

Таблица 1

Напряжения σ (МПа) в трубах с внешним диаметром D по ГОСТ Р 52079-2003 [4] в зависимости от кривизны K

$10^4 K, 1/м$	$D, мм$						
	426	530	720	820	1020	1220	1420
0,5	2,19	2,73	3,71	4,22	5,25	6,28	7,31
1	4,39	5,46	7,42	8,45	10,51	12,6	14,6
5	21,9	27,3	37,1	42,2	52,5	62,8	73,1
10	43,9	54,6	74,2	84,5	105,1	125,7	146,3
20	87,8	109,2	148,3	168,9	210,1	251,3	292,5
30	131,6	163,8	222,5	253,4	315,2	377,0	438,8
40	175,5	218,4	296,6	337,8	420,2	σ_T	σ_T
50	219,4	272,9	370,8	422,3	σ_T		
60	263,3	327,5	445,0	σ_T			
80	351,0	436,7	σ_T				
100	438,8	σ_T					

1. Приближенная оценка кривизны МТ с учетом поворотов осевой линии

¹ Координаты точек осевой линии подземных МТ с учетом глубин заложения устанавливают посредством спутниковой навигационной системы глобального позиционирования GPS (Global Positioning System) с двухчастотными приемниками, обеспечивающими высокую точность измерений.

При мониторинге заглубленных магистральных трубопроводов с контролем напряженно-деформированного состояния на основе планово-высотной информации в дискретном виде $y(z)$ необходима обработка соответствующих числовых массивов для определения кривизн МТ вдоль трассы. От кривизн $K(z)$ переходом к изгибающим моментам определяются изгибные напряжения $\pm\sigma(z)$.

При поворотах линейных частей МТ в местах изгиба осевой линии (с встроенными изогнутыми элементами или угловыми патрубками) соответствующий угол поворота, не влияющий на локальную деформационную кривизну, определяют продолжением осевых линий до их пересечения.

Рассматривается функция $y(z)$ – в системе координат xuz с горизонтальной осью z , параллельной уровню моря. При уклонах и наличии поворотов на расчетной дистанции необходимо корректировать функцию $y(z)$ приведением ординат к единой осевой линии МТ. При повороте проектной осевой линии на угол α от участка с наклоном β фиксируются отметки с координатами, которые в применении стандартной процедуры обработки следует преобразовать на продолжение доповоротной оси. Рассмотрим процедуру преобразований для одной i – й точки, зафиксированной с координатами $y_c(z_2)$ на дистанции L от точки поворота $y_1(z_1)$ (рис. 1), которую следует повторять в цикле по всем отметкам на дистанции L от поворота.

Для определения координат скорректированной отметки $y_i(z_i)$ отсечем на продолжении исходной осевой линии дистанцию L .

Абсцисса искомой точки равна

$$z_i = z_1 + L \cos \beta .$$

Расстояние Δ от точки замера до проектной линии $\Delta = y_c - y_2$, где $y_2 = y_1 + L \sin(\alpha + \beta)$. Искомое значение отметки $y_i = y_3 + \Delta$, где $y_3 = y_1 + L \sin \beta$. После подстановок получаем

$$y_i = y_c - L [\sin(\alpha + \beta) - \sin \beta] .$$

При горизонтальной осевой линии до поворота ($\beta = 0$) имеем простые формулы для координат

$$z_i = z_1 + L, \quad y_i = y_c - L \sin \alpha .$$

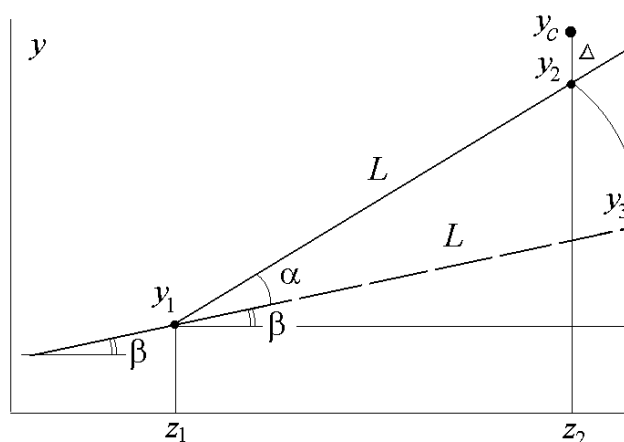


Рис. 1. Схема корректировки массива отметок при поворотах осевой линии МТ

Поскольку кривизна бруса представляет вторую производную по координате, функцию $y(z)$ надлежит подвергнуть двойному дифференцированию с применением численных методов.

Принимается, что возможные искривления первоначально линейной осевой линии МТ являются следствием нагружений трубопровода и взаимодействий с неровностями рельефа вдоль осевой линии, и соответствующие изгибные деформации и нормальные напряжения трубопровода в плоскости xu , ортогональной оси с локальным искривлением, не зависят от поля воздействий в плоскости xu .

Оценку НДС можно осуществить достаточно простым методом, основанным на подсчете кривизны по углам смежности, вычисляемым по малому числу табличных данных, снятых вдоль оси МТ. По определению кривизна K плоской кривой в точке A дается формулой $K = \lim_{B \rightarrow A} (\varphi / \psi_{AB})$, где φ – угол смежности, равный разности углов между осью z и касательными в точках A и B , ψ_{AB} – длина дуги между указанными соседними точками.

Функция $y(z)$ вводится в параметрическом виде массивом $y(n)$ с аргументами $z(n)$. Расчетные формулы для «кривизны ломаной» K_i в зоне узла i следующие (рис. 2).

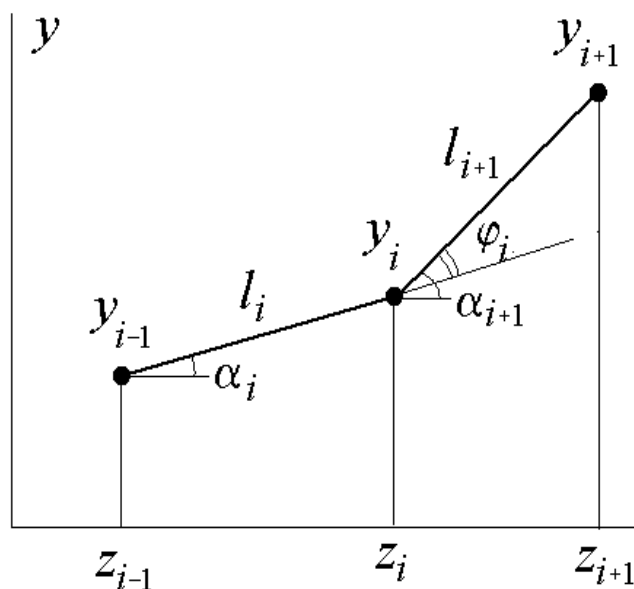


Рис. 2. Схема к расчету центрированной кривизны ломаной

Наклоны отрезков ломаной

$$\alpha_i = \arctg [(y_i - y_{i-1}) / (z_i - z_{i-1})] \approx (y_i - y_{i-1}) / (z_i - z_{i-1}),$$

и средний (центрированный) наклон в точке с абсциссой z_i равен

$$\alpha_{i,cp} = (\alpha_i + \alpha_{i+1}) / 2.$$

Угол смежности $\varphi_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$, и кривизна в точке z_i

$$K_i = \varphi_i / A, \quad A = (l_i + l_{i+1}) / 2.$$

Данная процедура расчета K_i эквивалентна разностному оператору, центрированному на индекс i , для второй производной с шагом h второго порядка точности

$$K_i \equiv d^2(y_i)/dz^2 = (y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1})/h^2, \quad (1)$$

и первой производной – оператору²

$$dy_i/dz = (y_{i+1} - y_{i-1})/(2h). \quad (2)$$

Поскольку для трубы с внешним диаметром D отношение моментов инерции и сопротивления $J/W = D/2$, изгибные фибровые напряжения от искривлений не зависят от толщины стенки и в пределах упругих деформаций определяются по формуле

$$\sigma = \pm EJKW = \pm \frac{1}{2} EKL. \quad (3)$$

В табл. 2 и на рис. 3,а приведены данные и показана визуализация измерений ряда высотных отметок $y(z)$ на дистанции 625 м с шагом $h = 25$ м, отнесенных к реперной точке – началу координат ($y(0) = 0$), и пример обработки ряда с центрированием на индекс i по приведенным формулам.

Таблица 2

Ряд высотных отметок $y(z)$, наклоны $\alpha_{cp} = y'$ и кривизны K

i	$z, \text{м}$	$y, \text{м}$	$10^2 \alpha_{cp}$	$10^4 K, 1/\text{м}$	i	$z, \text{м}$	$y, \text{м}$	$10^2 \alpha_{cp}$	$10^4 K, 1/\text{м}$
0	0	0			13	325	-0,54	-0,92	0,32
1	25	0,33	1,38	0,48	14	350	-0,76	-0,88	0,00
2	50	0,69	1,08	-2,88	15	375	-0,98	-0,94	-0,48
3	75	0,87	0,6122	-0,80	16	400	-1,23	0,12	8,96
4	100	1,0	0,54	0,16	17	425	-0,92	1,18	-0,48
5	125	1,14	0,48	-0,64	18	450	-0,64	1,18	0,48
6	150	1,24	0,26	-1,12	19	475	-0,33	0,64	-4,80
7	175	1,27	-0,58	-5,60	20	500	-0,32	-0,34	-3,04
8	200	0,95	-1,50	-1,76	21	525	-0,50	-0,78	-0,48
9	225	0,52	-1,64	0,64	22	550	-0,71	-0,78	0,48
10	250	0,13	-1,24	2,56	23	575	-0,89	0,42	9,12
11	275	-0,10	-0,86	0,48	24	600	-0,50	1,78	1,76
12	300	-0,30	-0,88	-0,64	25	625	0	0,44	

² В методике [5] в терминах ее авторов для «радиуса прогиба r » трубы по трем соседним точкам использованы эмпирические соотношения с различными ограничениями, дающие результаты, соответствующие дифференциальному оператору (1).

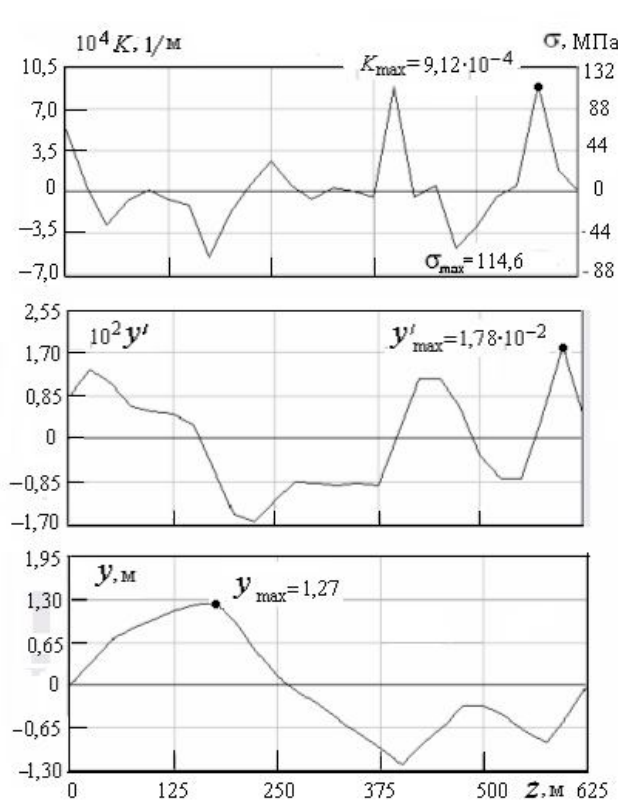


Рис. 3,а. Данные и обработка массива плано-высотных отметок по формулам п. 1

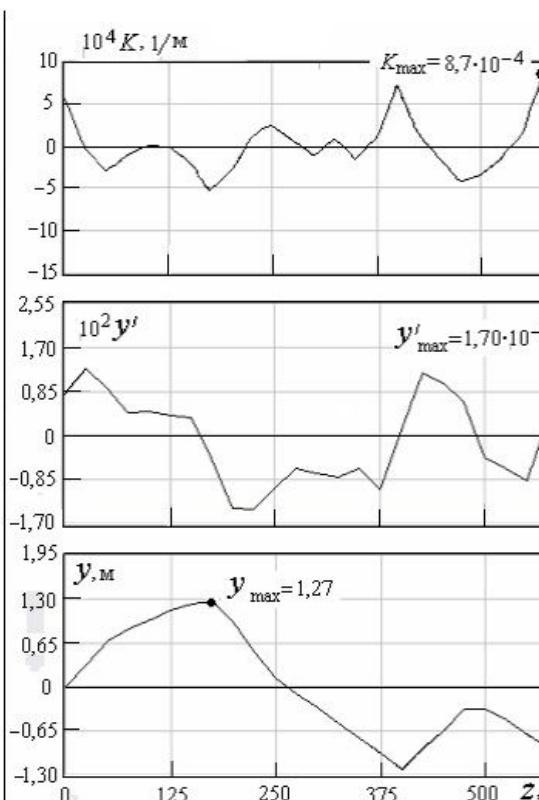


Рис. 3,б. Обработка массива высотных отметок на основе сплайн-аппроксимации дифференцированием интерполяционного многочлена с шагом $h = 1$ м

Пример 1. Подсчитаем экстремум изгибных напряжений искривлений для труб диаметром $D = 1,22$ м. В опасном сечении $z_{23} = 575$ м $K_{23} = 9,12 \cdot 10^{-4}$ 1/м, радиус кривизны $\rho_{23} = 1/K_{23} = 1,096$ м, напряжение по формуле (3) $\sigma_{\max} = \pm 114,6$ МПа. Максимальный наклон при $z_{24} = 600$ м равен $\alpha_{cp,24} = 1,78 \cdot 10^{-2}$.

Практическая значимость представленных соотношений состоит в том, что оперативную оценку опасности повреждений трубопровода можно осуществить вручную при визуализации кривой $y(z)$ по трем соседним точкам измерений, выбранных на глаз по местам сильных градиентов.

Пример 2. Значительные градиенты плано-высотных отметок заметны на дистанциях 400 и 575 м. Например, на дистанции $z_i = 400$ м отметка $y_i(z_i) = -1,23$ м; в соседних точках: $z_{i-1} = 375$ м, $y_{i-1} = -0,98$ м; $z_{i+1} = 425$ м, $y_{i+1} = -0,92$ м. Кривизна по формуле (1)

$$K_{16} = (-0,92 - 2 \cdot (-1,23) - 0,98) / 25^2 = 8,96 \cdot 10^{-4} \text{ 1/м.}$$

Приведенные формулы дают хорошее значение второй производной для достаточно гладких функций $y(z)$. Для рядов с небольшим числом элементов и большими градиентами целесообразно устанавливать кривизну более точным методом, рассмотренным ниже.

2. Упругопластичность трубопроводов

До предела текучести ($\sigma \leq \sigma_T$) напряжения в трубопроводе пропорциональны деформациям $\sigma = \varepsilon E$. Переход в упругопластическую стадию происходит, когда «фибровое» напряжение (в крайних волокнах сечения $x_n = D/2$) достигнет предела текучести при значении кривизны

$K_T = 2\sigma_T / (E D)$. При больших значениях кривизны в сечении развиваются пластические деформации, распространяющиеся к нейтральной оси. Далее полагается применимость для стали упругопластической зависимости $\sigma(\varepsilon)$ по диаграмме Прандтля с постоянным напряжением на площадке текучести. При этом в сечении трубы напряжения в пределах пластической зоны ($x > x_p$) будут равны σ_T (рис. 4).

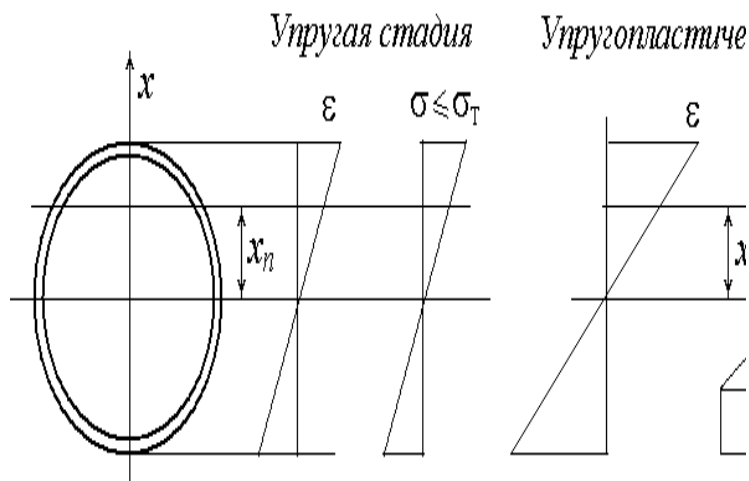


Рис. 4. Напряженно – деформированное сечение МТ.
За пределом упругости $2x_p$ – размер упругого ядра

Допустим для упругого ядра предельный полуразмер $x_p = x^* > 0$ и введем коэффициент упругого ресурса $\xi = 2 x^*/D$, означающий упругую долю сечения по высоте. Соответствующее предельное значение кривизны

$$K_* = \sigma_T / (E x^*) = 2\sigma_T / (ED\xi), \quad (5)$$

при максимуме фибровой пластической деформации, независимом от диаметра:

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{1}{2} DK_* = \pm \sigma_T / (E\xi). \quad (6)$$

При $\varepsilon_{\max} > \varepsilon_\delta$, то есть при превышении предельного значения пластической деформации ε_δ , возможно разрушение трубы. Для сталей классов К56 и К60 $\varepsilon_\delta = 0,2$ (20 % [4]).

В табл. 3 приведены предельные значения кривизн и соответствующие величины фибровых деформаций для ряда вариантов упругого резерва сечений МТ двух классов прочности.

Таблица 3

Кривизны Kr труб диаметром D с упругим ресурсом ξ сечений при максимумах фибровых пластических деформаций ε_{\max} .

При $\xi = 100\%$ фибровое напряжение $\sigma = \sigma_T$

Класс прочно-сти	Упругий ресурс, %	ϵ_{\max} , %	D , мм						
			426	530	720	820	1020	1220	1420
			$10^2 Kr$, 1/м						
К56	100	0,199	0,934	0,751	0,553	0,485	0,390	0,326	0,280
	50	0,398	1,869	1,502	1,106	0,971	0,781	0,853	0,501
	30	0,663	3,115	2,504	1,843	1,618	1,301	1,088	0,934
	20	0,995	4,672	3,755	2,764	2,472	1,951	1,631	1,402
	10	1,99	9,344	7,511	5,529	4,854	3,903	3,263	2,803
	5	3,98	18,69	15,02	11,06	9,709	7,805	6,526	5,606
К60	100	0,214	1,003	0,806	0,593	0,521	0,418	0,350	0,301
	50	0,427	2,006	1,612	1,187	1,042	0,838	0,700	0,602
	30	0,712	3,343	2,607	1,978	1,737	1,396	1,167	1,003
	20	1,068	5,014	4,030	2,967	2,605	2,094	1,751	1,504
	10	2,14	10,028	8,060	5,933	5,210	4,188	3,502	3,008
	5	4,27	20,056	16,120	11,866	10,419	8,376	7,003	6,017

Из приведенных данных видно, что при значительных искривлениях трубопроводов с сохранением до 5% упругого ядра сечений фибровые пластические деформации не превышают 5%, то есть значительно ниже предельных значений ($\epsilon_{\max} \ll \epsilon_{\delta}$).

3. Определение кривизны МТ на основе сплайн-аппроксимации функций

Для обработки рядов с небольшим числом элементов применяется метод дифференцирования числовых массивов, аппроксимируемых кубическими сплайнами, с генерированием интерполяционного многочлена с увеличенным числом членов (скажем, на порядок) с применением стандартных процедур. Такой массив, сглаженный сплайнами, дает уточненные значения производных и кривизн. Сплайн – аппроксимация осуществляется процедурой SPLINE, а интерполяция – процедурой SEVAL (рис. 5).



Рис. 5. Блок-схема программы STAIRS обработки рядов планово-высотных отметок сглаживанием кубическими сплайнами

На рис. 3,б представлены результаты обработки исходного ряда дифференцированием на основе сплайн-аппроксимации, выполненной программой STAIRS. Полученные экстремумы параметров имеют несколько меньшие значения в сравнении с результатами на рис. 3,а без обработки сплайнами.

4. Рекомендации по оперативной оценке прочности МТ на примерах

Для оперативной оценки прочности МТ по графику экспериментально снятых планово-высотных отметок на глаз устанавливают места сильных градиентов (перепадов высот) и по трем соседним точкам вычисляют значение кривизны K по формуле (1) (см. Пример 2).

По табл. 1 по значению K определяют напряжение σ . Случай $\sigma > \sigma_T$ указывает о работе сечения трубы за пределом текучести, и упругий резерв устанавливают по табл. 3.

Пример 3. Для МТ диаметром 1220 мм с классом прочности К60 на графике отметок установлены два опасных сечения. По формуле (1) для этих сечений определены значения кривизн: $K_1 = 30 \cdot 10^{-4}$ 1/м и $K_2 = 75 \cdot 10^{-4}$ 1/м. По табл. 1 для первого сечения $\sigma_1 = 377$ МПа. Для второго сечения $\sigma_2 > \sigma_T$, то есть часть сечения пластически деформировано при сохранении упругости центральной зоны. По табл. 3 в колонке для $D = 1220$ мм по классу прочности К60 при $K_2 = 0,75 \cdot 10^{-2}$ 1/м, интерполируя, получаем упругий ресурс $\sim 75\%$ при максимуме пластической деформации $\varepsilon_{\max} \sim 0,3\% \ll \varepsilon_{\delta} = 20\%$.

Выводы

1. В статье приведена методика обработки рядов планово – высотных отметок деформировано – искривленных трубопроводов для расчета кривизн и приближенной оценки прочности МТ с учетом проектных поворотов осевой линии.

2. Методика позволяет осуществлять оперативную оценку прочности в опасных сечениях МТ – в зонах больших градиентов отметок по трем соседним точкам осевой линии.

3. Оценка прочности в опасных сечениях от деформационного изгиба вдоль осевой линии МТ дается по экстремумам упругих напряжений, а при превышении предела текучести – по упругому резерву сечений. За пределом текучести дается оценка экстремума фибровой пластической деформации в сравнении с предельным нормативным удлинением металла.

4. При небольшом числе рядов отметок с большими градиентами в целях уточнения расчетов НДС предложено применение метода обработки сглаживанием на основе сплайн - аппроксимации и дифференцирования интерполяционного массива с мелким шагом.

1. Получаемые по методике данные НДС подлежат включению в систему компонент тензора напряжений при комплексной оценке прочности МТ.

Библиография

1. Котляревский В.А. Контроль ресурса прочности магистральных трубопроводов на трассах со сложными геологическими условиями. // Электронный журнал «Наука и безопасность», № 3(3), март 2012. – С. 127–152. URL:<http://www.art-atis.com>.
2. Котляревский В.А., Александров А.А., Ларионов В.И. Анализ прочности заглубленных в грунт магистральных нефтепроводов в сложных условиях нагружения. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Серия «Машиностроение», 2011, 4(85). – С. 24–33.
3. Котляревский В.А. Статистическое моделирование сейсмических воздействий на сооружения. // Строительная механика и расчет сооружений, 1988, № 3. – С. 44–48.

4. ГОСТ Р 52079-2003. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. ТУ. – М.: Госстандарт России, 2005.
5. ВРД 39-1.10-026-2001. Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов. – М.: НТЦ "Ресурс газопроводов" ООО "ВНИИГАЗ", 2001. – 106 с.
- 6.

Моделирование сейсмостойкости искривленных подземных магистральных трубопроводов при пластическом деформировании с оценкой упругого ресурса

Modeling of seismic stability of curved underground pipelines in plastic deformation with the evaluation of the elastic resource

УДК 622.692.4

Котляревский В.А.

Научно-образовательный центр исследования экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) Московского государственного технического университета (МГТУ) имени Н.Э. Баумана. Главный научный сотрудник НОЦ ИЭС, д-р т.н., проф., академик ВАНКБ и МАИ.

Kotlyarevsky W.A.

Extreme Situations Research Center of Bauman Moscow State Technical University, Moscow.
Lead researcher of Scientific Educational Center of Extreme Situations Analysis.

Аннотация:

Представлен алгоритм определения остаточного упругого ресурса искривленных рельефом и сейсмически нагруженных подземных трубопроводов под давлением транспортируемого продукта и при температурных перепадах при пластических деформациях в опасных сечениях.

Summary:

The algorithm of determining the residual elastic resource curved relief and seismically loaded underground pipelines under the pressure of the transported product and the temperature drops in plastic deformations in the dangerous sections.

Ключевые слова:

Подземный трубопровод, искривление рельефом, сейсмостойкость, пластические деформации, упругий ресурс.

Key words:

Underground pipeline, the curvature of relief, earthquake resistance, plastic deformation, elastic resource.

В [1] приведены методы прочностного расчета магистральных трубопроводов (МТ) в пределах упругого деформирования материала труб. На практике трубопроводы без опасных повреждений могут работать и за пределом текучести, не превышая нормативного предельного удлинения материала труб при фибровых пластических деформациях опасных сечений до 5% с сохранением значимого центрального упругого ядра, поддерживающего изгибную жесткость трубопровода.

В предыдущей статье приведен упругопластический расчет изогнутого ненагруженного трубопровода, то есть – в начальных условиях до ввода в эксплуатацию. Ниже расчет расширен дополнением действующих нагрузок, вызывающих продольно-поперечное упругопластическое деформирование труб. Рассмотрен алгоритм оценки сейсмостойкости магистральных подземных трубопроводов с деформационными искривлениями под гидростатическим давлением

транспортируемого продукта и при температурных перепадах при возможном возникновении пластических деформаций.

Оценка работоспособности трубопровода в упругой стадии дается по предельно-допустимому значению интенсивности напряжений. В пластической стадии – по непревышению максимума фибровой пластической деформации нормативных удлинений металла при значимом упругом ресурсе, как отношении размера упругого ядра к диаметру кольцевого сечения.

1. Воздействия на трубопровод и деформации опасных сечений

Подземный трубопровод (линейной части) в стадии эксплуатации, деформационно изогнутый неровностями рельефа, находится под гидростатическим давлением транспортируемого продукта при температурном перепаде. В сейсмически активных регионах на трубопровод действует волновая сейсмическая нагрузка. Поведение трубопровода в значительной степени зависит от свойств грунтовой среды, взаимодействующей с поверхностью труб, что фиксируется нормативным коэффициентом заземления K_z , характеризующим степень «заделки» участка подземного трубопровода по концам [2].

От искривлений осевой линии при кривизне K в опасном сечении трубы с внешним диаметром D фибровые (в крайних волокнах сечения) деформации ε_k равны

$$\varepsilon_k = \pm \frac{1}{2} K I. \quad (1)$$

От давления продукта P в стенке трубы толщиной δ возникают не суммирующиеся с осевыми деформациями растягивающие кольцевые удлинения, вызывающие при $K_z > 0$ осевые деформации удлинения ε_μ

$$\varepsilon_\mu = \frac{1}{2} \mu K_z P D / (\delta E), \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала трубы, μ – коэффициент Пуассона.

Давление на торцы (в свету с внутренним диаметром d) участка МТ при $K_z < 1$ вызывает осевое относительное растяжение

$$\varepsilon_p = \frac{1}{4} (1 - K_z) P d / (\delta E). \quad (3)$$

От воздействий температурного перепада $\Delta T = T_2 - T_1$ при $K_z > 0$ повышение температуры $\Delta T > 0$ вызывает осевую деформацию сжатия, а при $\Delta T < 0$ – растяжения

$$\varepsilon_\theta = -K_z K_T \Delta T, \quad (4)$$

где T_1 и T_2 – начальная и текущая температура, K_T – коэффициент температурного расширения материала.

Сейсмическое воздействие по нормам [2] определяется осевым напряжением σ_s

$$\sigma_s = \pm 0,04 K_z k_0 k_{\Pi} a_c E T_0 / V_1, \quad (5)$$

с нормативными параметрами: k_0 – коэффициент ответственности МТ; k_{Π} – коэффициент повторяемости землетрясений; a_c – сейсмическое ускорение; T_0 – преобладающий период сейсмических колебаний; V_1 – скорость продольной сейсмической волны.

В диапазонах реальных значений параметров в (5) напряжение σ_s не превышает предела текучести σ_T , и формулу для осевой деформации от сеймики примем в виде³

³ Например, при $K_z = 1$; $a_c = 400 \text{ см/с}^2$ (землетрясение 9 баллов); $K_0 = 1,5$; $K_{\Pi} = 1$; $T_0 = 1,7 \text{ с}$; $V_1 = 350 \text{ см/с}$ напряжение $\sigma_s = 240 \text{ МПа}$.

$$\varepsilon_S = \pm 0,04 K_z k_0 k_{\Pi} a_c T_0 / V_1 . \quad (6)$$

При совместном действии перечисленных факторов деформации суммируются. Максимумы фибровых деформаций

$$\varepsilon_{\max} = \pm \varepsilon_k + \varepsilon_{\mu} + \varepsilon_p \pm \varepsilon_{\theta} \pm \varepsilon_S . \quad (7)$$

При $\varepsilon_{\max} > \varepsilon_T$ в сечении возникают пластические деформации.

Если $\varepsilon_{\max} < \varepsilon_T = \sigma_T/E$, максимум упругих продольных напряжений $\sigma_{\max} = E \varepsilon_{\max}$, и эквивалентные напряжения σ_3 , определим по энергетической теории прочности интенсивностью напряжений с учетом растягивающего кольцевого напряжения σ_R от гидростатического давления $\sigma_R = \frac{1}{2} P d \delta$:

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + \sigma_R^2 - \sigma_{\max} \sigma_R} . \quad (8)$$

Оценка прочности дается условием неперевышения напряжением σ_3 предела текучести σ_T .

2. Варианты развития пластичности в трубах

От реальных значений гидростатического давления кольцевые напряжения не превышают предела текучести, поэтому обратим внимание на условия появления пластичности от продольных деформаций – в сумме осевых и фибровых с учетом их возможных значений.

Деформации $\varepsilon_{\mu} > 0$ и $\varepsilon_p > 0$ – осевые и всегда положительны.

Деформации $\varepsilon_{\theta} > 0$ и $\varepsilon_S > 0$ – осевые и могут быть положительными и отрицательными.

Деформации ε_k – изгибные, с разными знаками на фибрах.

В связи с неоднозначностью осевых деформаций от температуры и сеймики и на фибрах сечений от искривлений возможны два сочетания условий для критических событий:

А) При $\Delta T \leq 0$ деформации $\varepsilon_{\theta} > 0$ или $\varepsilon_{\theta} = 0$, и экстремум деформации реализуется при $\varepsilon_k > 0$ и $\varepsilon_S > 0$ – на растянутой фибре.

Б) При $\Delta T > 0$ деформации $\varepsilon_{\theta} < 0$, то есть экстремум деформации реализуется при $|\varepsilon_{\theta}| > \varepsilon_{\mu} + \varepsilon_p$, $\varepsilon_k < 0$ и $\varepsilon_S < 0$ – на сжатой фибре или при $|\varepsilon_{\theta}| < \varepsilon_{\mu} + \varepsilon_p$, $\varepsilon_k > 0$ и $\varepsilon_S > 0$ – на растянутой фибре.

Для фибровых напряжений σ до предела текучести ($\sigma \leq \sigma_T$) изгибные напряжения в трубопроводе пропорциональны деформациям $\sigma = \varepsilon E$. Переход в упругопластическую стадию происходит, когда фибровое напряжение достигнет предела текучести. При увеличении кривизны и интенсивности воздействий в сечении развиваются пластические деформации, распространяющиеся к смещающейся нейтральной оси. Далее полагается применимость для стали упругопластической зависимости $\sigma(\varepsilon)$ по диаграмме Прандтля с постоянным напряжением на площадке текучести. При этом в сечении трубы напряжения в пределах пластической зоны будут равны σ_T . Возможные варианты работы сечений показаны на рис. 1, на котором ε_{TP} – суммарная осевая деформация.

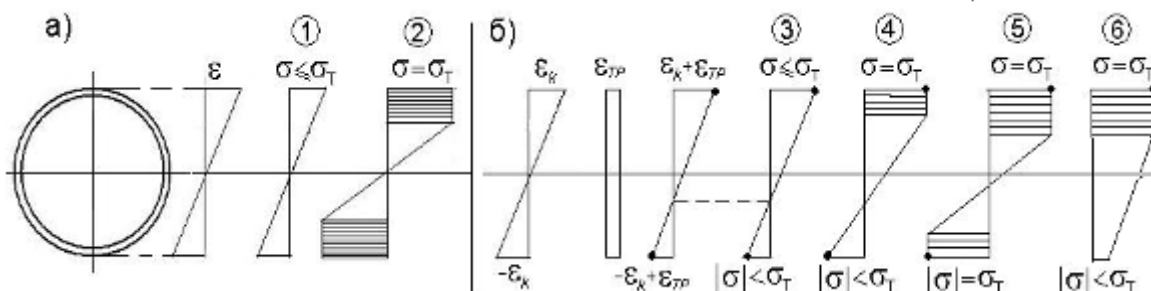


Рис. 1. Варианты состояния сечения в упругой стадии и с пластическими деформациями: а) при искривлении, б) при искривлении совместно с осевой деформацией

3. Пластичность изогнутого трубопровода

В упругой стадии искривленной не нагруженной трубы (вариант «а» на рисунке) деформации и напряжения в опасном сечении распределены линейно, а при появлении пластических деформаций линейность напряжений сохраняется только для упругого ядра (упругой зоны) при максимуме деформации $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_k > \varepsilon_T = \sigma_T/E$ с размером ядра $x_z = 2x_p = D \varepsilon_T / \varepsilon_k$ (рис. 2).

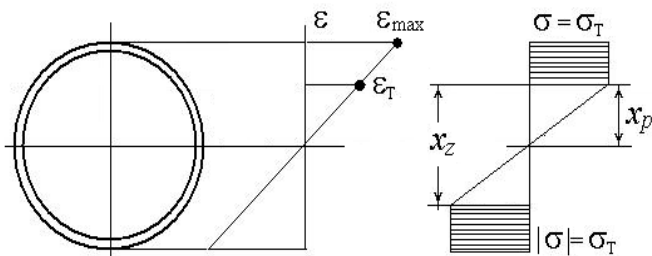


Рис. 2.
Напряженно-деформированное состояние сечения изогнутой трубы за пределом текучести с размером упругого ядра x_z

Введем для упругого ресурса сечения обозначение $\xi = x_z/D$, означающее упругую долю сечения по высоте. При этом значение кривизны $K = 2 \sigma_T / (E D \xi)$ при максимуме фибровой пластической деформации, независимом от диаметра,

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{1}{2} DK = \pm \sigma_T / (E \xi).$$

При $\varepsilon_{\max} > \varepsilon_\delta$, то есть при превышении предельного значения пластической деформации ε_δ , возможно разрушение трубы. Для сталей классов К56 и К60 $\varepsilon_\delta = 0,2$ (20%). Предельные значения кривизн и соответствующие величины фибровых деформаций для ряда вариантов упругого ресурса сечений ненагруженных МТ двух классов прочности приведены в предыдущей статье.

4. Пластичность сжато-изогнутого трубопровода

При нагружении МТ в сжато-изогнутом состоянии симметрия деформаций в сечении нарушается. Рассмотрим опасный случай «А» суммирования осевых деформаций, когда температурный перепад отрицательный, труба находится под внутренним давлением, осевые деформации растяжения в сумме составляют $\varepsilon_{PT} = \varepsilon_\mu + \varepsilon_p + \varepsilon_\theta + \varepsilon_s$, и максимум деформации растянутой (верхней) фибры $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_k + \varepsilon_{PT}$, тогда как модуль деформации нижней фибры уменьшается $\varepsilon_{\min} = -\varepsilon_k + \varepsilon_{PT}$. Расчетный алгоритм для данного случая (рис. 3) обобщает указанные выше варианты 1–4. При смещении нейтральной оси размеры растянутой зоны x_0 и растянутой части упругого ядра x_p , всего упругого ядра x_z и пластической зоны x_{PLS} при $|\varepsilon_{\min}| \leq \varepsilon_T$ определяются по формулам

$$x_0 = \frac{1}{2} D \varepsilon_{\max} / \varepsilon_k, \quad x_p = \frac{1}{2} D \varepsilon_T / \varepsilon_k \quad (x_0 \leq D),$$

$$x_z = D - (x_0 - x_p) = D \left[1 - \frac{1}{2} (\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T) / \varepsilon_k \right] \quad (\varepsilon_{\max} \leq 2\varepsilon_k),$$

$$x_{PLS} = x_0 - x_p.$$

При $x_0 = D$ ($\varepsilon_{\max} = 2\varepsilon_k$) размер пластической зоны будет $x_{PLS}^* = D(1 - \frac{1}{2} \varepsilon_T / \varepsilon_k)$, то есть при преобладающем действии охлаждения и $\varepsilon_{\max} \geq 2\varepsilon_k$ все сечение окажется растянутым (вариант б).

При преобладающем действии искривлений над осевым усилием возможно превышение предела текучести в обеих крайних фибрах, поскольку модуль деформации нижней фибры $|\varepsilon_{\min}| > \varepsilon_T$ (вариант 5). При этом размер упругого ядра $x_z = 2x_p = D \varepsilon_T / \varepsilon_k$ при размерах пластических зон: верхней $x_0 - x_p$ и нижней $D - (x_0 + x_p)$, то есть в сумме $D - x_z$.

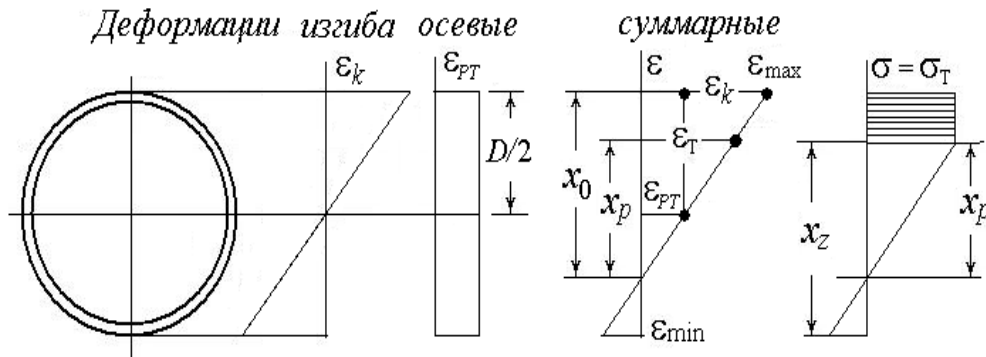


Рис. 3. Состояние сечения трубы при сейсмическом воздействии, под давлением, при искривлении и температурном перепаде в упругопластической стадии

При положительном температурном перепаде случай (Б) с появлением осевого сжатия контроль осуществляется при суммировании осевых деформаций с фибровыми сжимающими деформациями, и алгоритм не меняется. Во всех случаях упругий ресурс оценивается как $\xi = x_z/D$.

5. Программная реализация расчетной модели и примеры расчета

Рассмотренный алгоритм реализован в программе STAIRS. Пуск программы осуществляется с вводом данных: $D, \delta, E, \mu, \sigma_T, K_T, K, P, \Delta T, G, K_Z, K_0, K_{II}, T_0, V_1$.

При расчете деформаций $\varepsilon_T, \varepsilon_k, \varepsilon_\theta, \varepsilon_\mu, \varepsilon_{\max}, \varepsilon_{\min}$ при $\Delta T \leq 0$ величины ε_k и ε_s относятся к растянутой фибре, при $\Delta T > 0$ – к сжатой фибре.

При $\varepsilon_{\max} \Rightarrow \sigma_T/E, \varepsilon_{\min} < \sigma_T/E$ – ведется упругопластический расчет по вар. 4.

При $\varepsilon_{\max} \Rightarrow \sigma_T/E, \varepsilon_{\min} > \sigma_T/E$ – ведется упругопластический расчет по вар. 5.

В итоге расчета при реализации упругой стадии выдаются значения эквивалентного напряжения, а при превышении напряжением предела текучести – значения экстремума пластической деформации и упругого ресурса опасного сечения.

Пример 1. Анализ состояния трубопровода с искривлениями в сечении на участке с защемленными концами ($K_Z = 1$) в диапазонах: кривизн $10^3 K = 1,64-5,0$; $\Delta T = 0, -40$ и $+40^\circ\text{C}$; $P = 0$ и $8,8$ МПа. Труба $D = 1,22$ м; $\delta = 20$ мм сталь класса прочности К56, $\sigma_T = 410$ МПа; $\mu = 0,3$; $\varepsilon_T = 0,2\%$; $\varepsilon_\delta = 20\%$; $10^5 K_T = 1,2$ град $^{-1}$. Сейсмическое воздействие отсутствует.

Расчетом получены значения осевых деформаций: при $\Delta T = \pm 40$ град $10^2 \varepsilon_\theta = \pm 4,8\%$; при $P = 8,8$ МПа $10^2 \varepsilon_\mu = 3,91\%$. Из табл. 1 результатов расчета видно, при каких условиях возникают и прогрессируют пластические деформации (по превышению значения $\varepsilon_T = 0,2\%$). На прочность рассмотренных труб совместное действие внутреннего давления и температуры в указанных в таблице пределах не оказывает заметного влияния при деформациях искривлений, превышающих $0,3\%$ при упругом ресурсе менее 66% .

Таблица 1.

Упругопластические деформации ε трубопровода с искривлениями под внутренним давлением P при температурных перепадах ΔT и упругий ресурс ξ опасного сечения

P , МПа	ΔT , град	Параметры							
		$10^3 K$, 1/м	1,64	2,05	2,46	2,87	3,28	4,10	4,92
0; 8,8	0; ± 40	$\pm \varepsilon_k$, %	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,250	0,300
		ξ , %	100	100	100	100	99,5	79,6	66,3
8,8	-40	ε_{\max} , %	0,187	0,212	0,237	0,262	0,287	0,337	0,387
		$ \varepsilon_{\min} $, %	0,013	0,038	0,063	0,088	0,113	0,163	0,213
		ξ , %	100	94,8	87,3	82,0	78,0	72,4	66,3
	+40	ε_{\max} , %	0,091	0,116	0,141	0,166	0,191	0,241	0,291
		$ \varepsilon_{\min} $, %	0,109	0,134	0,159	0,184	0,209	0,259	0,309
		ξ , %	100	100	100	100	97,5	79,6	66,3

Пример 2. Расчет с данными предыдущего примера, дополненными сейсмическим воздействием интенсивность $G = 8$ баллов (при ускорении $a_c = 200 \text{ см/с}^2$), $k_0 = 1,5$; $k_{II} = 1$; $T_0 = 1,7 \text{ с}$; $V_1 = 350 \text{ м/с}$. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Уругопластические деформации ε трубопровода с искривлениями под внутренним давлением P при температурных перепадах ΔT при сейсмике 8 баллов и упругий ресурс ξ_S опасного сечения

P , МПа	ΔT , град	Параметры							
		$10^3 K$, 1/м	1,64	2,05	2,46	2,87	3,28	4,10	4,92
0; 8,8	0; ± 40	$\pm \varepsilon_k$, %	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,250	0,300
		ξ_S , %	91,2	83,0	77,5	73,5	70,6	66,5	63,7
8,8	-40	ε_{\max} , %	0,304	0,329	0,354	0,379	0,404	0,454	0,504
		$ \varepsilon_{\min} $, %	0,104	0,079	0,054	0,029	0,0036	0,046	0,096
		ξ_S , %	47,7	48,1	48,6	48,7	48,8	49,1	49,2
	+40	ε_{\max} , %	0,025	0,00043	0,025	0,050	0,075	0,125	0,175
		$ \varepsilon_{\min} $, %	0,226	0,250	0,276	0,300	0,326	0,376	0,426
		ξ_S , %	86,8	79,4	74,5	71,0	68,4	64,7	62,3

Расчетом установлено, что при отрицательном температурном перепаде и кривизнах в диапазоне $10^3 K = 1,64\text{--}3,28 \text{ 1/м}$ нейтральная ось выходит за пределы полностью растянутого сечения, и при больших кривизнах появляется небольшая сжатая упругая зона, что вызывает незначительный рост размера упругого ядра и ресурса. Во всем диапазоне расчетных кривизн при однозначном и двузначном распределении упругих деформаций по сечению упругий ресурс находится на стабильном уровне 48–49%. При положительном температурном перепаде упругий ресурс возрастает, расчетной является сжатая фибра и текучесть реализуется только в сжатой зоне, причем ресурс убывает с кривизной.

Для примера на рис. 4 показаны эпюры напряженно-деформированного состояния сечений для двух характерных вариантов состояния.

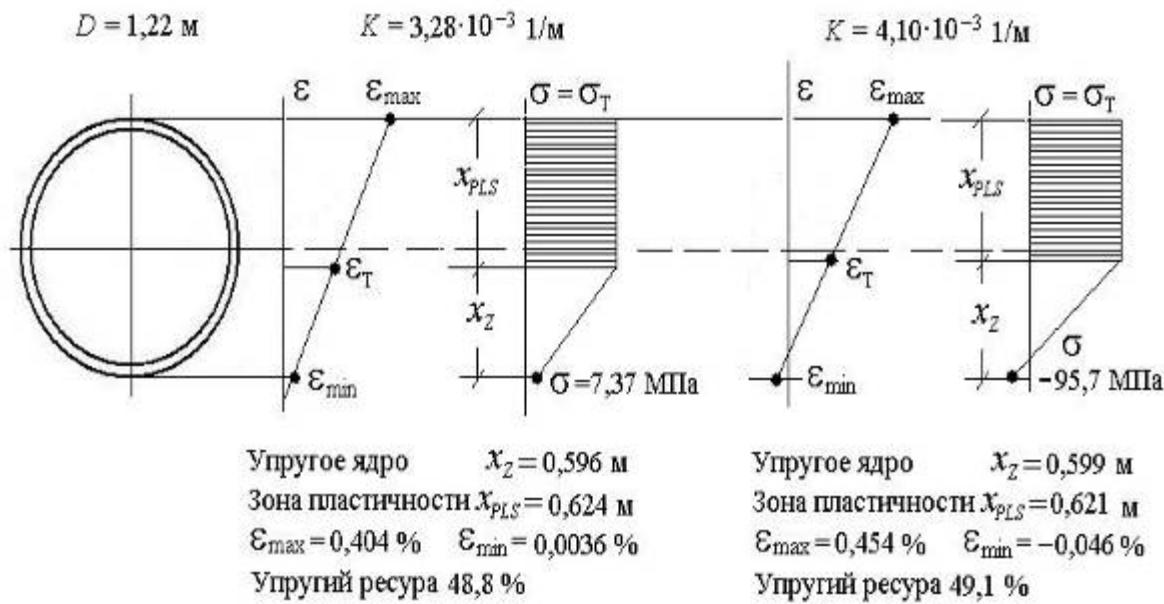


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние сечения трубопровода при сейсмике 8 баллов, температурном перепаде минус 40 град., под давлением продукта 8,8 МПа и двух значениях кривизны K . При $10^3 K = 3,28$ 1/м сечение растянуто; при $10^3 K = 4,1$ 1/м небольшая часть упругого ядра сжата

Основные обозначения

D – диаметр трубопровода, мм.

E – модуль упругости материала, МПа.

G – интенсивность землетрясения, балл.

K – деформационная кривизна трубопровода, 1/м.

K_z – коэффициент защемления участка трубопровода.

K_T – коэффициент температурного расширения, 1/град.

k_0 – коэффициент ответственности МТ.

k_{II} – коэффициент повторяемости землетрясений.

P – гидростатическое давление продукта, МПа.

T_0 – преобладающий период сейсмических колебаний, с.

V_1 – скорость продольной сейсмической волны, м/с.

x_z – размер упругого ядра сечения, м.

x_{PLS} – размер пластической зоны сечения, м.

δ – толщина стенки трубы, мм.

ΔT – температурный перепад, 1/град.

ϵ_{\max} – экстремум растягивающей пластической деформации, %.

ϵ_{\min} – экстремум сжимающей пластической деформации, %.

ϵ_k – фибровая деформация трубы от изгибных искривлений, %.

ϵ_θ – осевая деформация от температурного перепада, %.

ϵ_p – осевая деформация от гидростатического давления на торцы, %.

ϵ_μ – осевая деформация от радиального расширения трубы под давлением, %.

μ – коэффициент Пуассона.

ξ – упругий ресурс сечения, %.

ξ_s – упругий ресурс сечения при наличии сейсмическом воздействии, %.

σ_T – предел текучести материала, МПа.

Библиография

1. Котляревский В.А. Контроль ресурса прочности магистральных трубопроводов на трассах со сложными геологическими условиями. // Электронный журнал «Наука и безопасность». № 3(3), март 2012, с. 127–152. URL: <http://www.art-atis.com>.
2. СНиП 2.05.06-85*, с изм. 1996 г. Магистральные трубопроводы.– 71 с.

Предложения по совершенствованию конструкции трубобетонных колонн The methods of improvemen of concrete filled steel tube columns

УДК 624.075.23

Кришан А.Л.

Доктор технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Krishan A.L.

The Doctor of Engineering, the head of the department of construction designs, Magnitogorsk state technical university of G.I.Nosov

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований трубобетонных колонн. Показано, что за счет изготовления трубобетонных колонн с предварительно обжатом бетонным ядром повышается их эффективность. Несущая способность центрально сжатых люразцов таких колонн увеличилась на 20 ÷ 25%. Полученные результаты объясняются значительным увеличением прочности бетонного ядра предварительно обжатых образцов за счет проявления трех эффектов: длительного прессования бетонной смеси, предварительного бокового обжатия бетонного ядра и его работе в условиях объемного сжатия.

Abstract

The experimental researches of new construction of concrete filled steel tube columns are executed. It is offered to make the concrete filled steel tube columns with preliminary pressed concrete core to improve their construction. The bearing capacity of centrally compressed samples of columns is increased by 20 ч 25%. The received results are explained by the significant increase of the strength of concrete core in the preliminary compressed samples due to the simultaneous display of three effects: long-term compression of concrete mix, preliminary lateral compression of the concrete core and its work in the conditions of volume compression.

Ключевые слова

Новая конструкция, трубобетонные колонны, предварительное обжатие, длительное прессование, объемное сжатие, высокая несущая способность.

Keywords

New construction, concrete filled steel tube, preliminary pressed, long-term compression, volume compression, high bearing capacity.

В современном строительстве все более востребованными становятся трубобетонные колонны (ТБК), особенно при возведении высотных зданий. ТБК обладают рядом существенных достоинств. Сжатые трубобетонные элементы, имеющие небольшую гибкость и малые эксцентриситеты приложения продольной силы (что характерно для вертикальных несущих элементов каркасов высотных зданий) обладают исключительно высокой несущей способностью при относительно малых поперечных сечениях, являясь примером удачного сочетания наиболее ценных свойств

металла и бетона. Это дает существенную экономию материалов, приводит к уменьшению размеров сечений элементов, их массы и транспортных затрат, а также сохранения всех достоинств металлических конструкций в плане монтажа. Известны и другие положительные качества ТБК[1]. Основные из них – высокие надежность в эксплуатации и скорость возведения каркаса, сокращение расхода материальных и денежных ресурсов на изготовление.

Сравнение технико-экономических показателей металлических, железобетонных и трубобетонных колонн показывает, что, по сравнению с металлическими, экономия стали в трубобетонных конструкциях составляет до 56 %, а стоимость уменьшается до 1,74 раз, а, по сравнению с железобетонными, масса уменьшается до 83 %.

Наиболее значительным конструктивным недостатком ТБК является сложность обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. Такая работа наблюдается только в начальный период загрузки. Затем, вследствие разности начальных коэффициентов поперечной деформации бетона и стали внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона, способствуя возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений.

Практика эксплуатации сжатых трубобетонных конструкций свидетельствует о том, что отрыв сердечника от трубы происходит чаще всего именно при эксплуатационных нагрузках и приводит к снижению долговечности, а иногда и к снижению несущей способности элемента. Такой факт имел место, например, в трубобетонных арках моста через реку Исеть пролетом 140 метров, построенного по проекту В.А.Росновского.

Таким образом, бетонное ядро при эксплуатационных нагрузках обычно работает в условиях одноосного сжатия, а труба - как продольная арматура. Только при высоких уровнях нагружения, когда в бетоне начинают интенсивно проявляться процессы микротрещинообразования, стальная труба начинает работать как внешняя обойма. Труба, сдерживая поперечные деформации бетонного ядра, блокирует дальнейший рост уже образовавшихся в нем микротрещин и существенно отодвигает момент его разрушения. Поэтому прочность негибких трубобетонных конструкций, работающих на осевое сжатие, значительно выше прочности сопоставимых с ними по расходу бетона и стали традиционных железобетонных конструкций.

Однако эксперименты свидетельствуют о невозможности полного использования прочностных свойств объемно сжатого бетонного ядра традиционных трубобетонных конструкций из-за их высокой деформативности. По данным опытов, деформации укорочения центрально сжатых ТБК могут достигать 10÷15 % и более. В связи с этим, с чисто практической точки зрения, достигаемая в опытах предельная величина нагрузки для таких элементов большого интереса не представляет, так как для вертикальных несущих конструкций подобные деформации не допустимы.

Таким образом, на сегодняшний день остается весьма актуальной задача разработки и практического использования более совершенной конструкции ТБК. Совершенствование сжатых трубобетонных конструкций в настоящее время связывается, во-первых, с применением высокопрочных материалов, во-вторых, с обеспечением более благоприятных условий совместной работы оболочки и ядра на всех этапах нагружения.

Иногда на практике используется метод, преследующий совершенно противоположную цель, – обеспечить раздельную работу стальной трубы и бетонного ядра в продольном направлении. Для этого максимально снижают трение между трубой и бетоном. Например, использованием специальных полимерных прокладок или предварительной смазки. Тогда передача практически всей внешней нагрузки осуществляется на бетонное ядро колонны, внешняя же стальная оболочка при этом остается не загруженной. Такие условия работы колонн в многоэтажных зданиях обеспечить достаточно сложно.

Разработанная в США система SWMB[2] для обеспечения сцепления стальной трубы с бетоном предусматривает приваривание к внутренней поверхности оболочки стальных анкерных стержней. Для этого стальная труба предварительно разрезается вдоль на две части, а после закрепления анкеров сваривается. При достаточном количестве анкеров гарантируется совместная

работа ядра и оболочки на всех этапах. Однако этот метод трудоемок и для труб большого диаметра предполагает использование специального достаточно сложного оборудования.

Европейские, японские и американские нормы требуют обязательной постановки анкеров (рисунок 1) в зоне передачи вертикальных усилий и моментов на труботетонный элемент (в опорных узлах) для перераспределения усилий между стальной оболочкой и бетонным ядром.

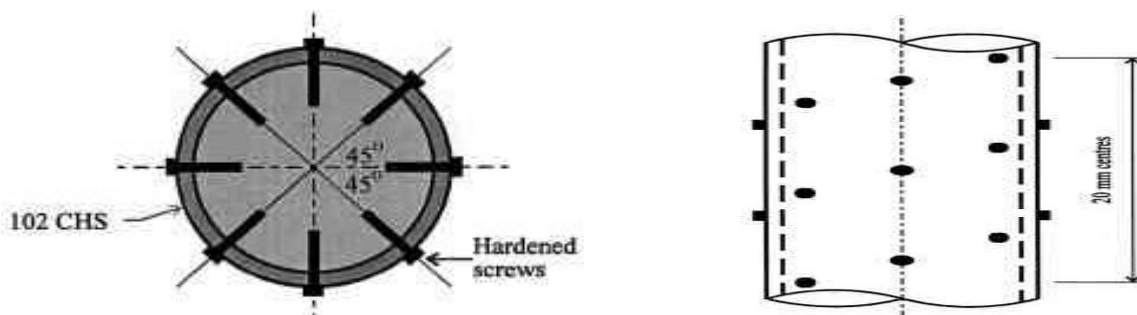


Рисунок 1 – Постановка поперечных анкеров в труботетоне

Отказ от анкеров допускается только при особой конструкции узла опирания перекрытия - через специальный оголовок колонны, который равномерно передает нагрузку как на внешнюю стальную оболочку, так и на бетонное ядро.

В наиболее распространенном случае, когда нагрузка от междуэтажного перекрытия передается непосредственно на внешнюю трубу, длина зоны обязательной постановки анкеров в опорных узлах согласно Eurocode 4 не должна превышать $2d$, где d – внешний диаметр сечения ТБК. Согласно рекомендациям современных исследований[3], общую длину такой зоны рекомендуется принимать $1d$. За пределами этих зон необходимость постановки анкеров определяется расчетом. В методике японских норм анкера предусматриваются на длине $0,5$ высоты этажа вверх и вниз от узла.

Отечественные исследователи эту проблему решали другими способами. Так, Н.В.Микула[4] предложил с помощью компрессионного уплотнения бетонной смеси с торцов трубы улучшать прочностные характеристики бетона труботетонных конструкций. Он отмечал, что компрессионное уплотнение давлением $13\div 39$ МПа позволяет получить более плотную структуру и повышает прочность бетонного ядра по сравнению с призмочной прочностью на $84\div 112\%$, а прочность самих элементов на $25\div 31\%$. Однако данный способ применим только при небольших длинах изготавливаемых ТБК - по нашим расчетам при отношениях длины элемента к диаметру его поперечного сечения $l/d \leq 2$, так как существенные потери компрессионного давления по длине элемента на преодоление внутреннего трения бетонной смеси и трения ее о стенки стальной трубы неизбежны. Для колонн высотных зданий отношение l/d больше 3.

Известны попытки изготовления центрифугированных ТБК[5], в которых, за счет уплотнения бетонной смеси, можно добиться увеличения прочности бетона на $30\div 50\%$. Но и этим методом изготовления ТБК имеют существенные недостатки. Во-первых, в процессе центрифугирования высока вероятность расслаивания бетонной смеси в пределах поперечного сечения ТБК. Во-вторых, из-за кратковременности действия центробежных сил невозможно создать предварительное растяжение оболочки и необходимый уровень обжатия ядра. Наконец, в-третьих, применение центрифугированных колонн практически исключает возможность возведения монолитного каркаса.

Выполненный анализ особенностей труботетонных элементов позволил сделать вывод о целесообразности дальнейшего совершенствования их конструкции. Для совершенствования конструкции ТБК предлагается изготавливать их с предварительно обжатым бетонным ядром.

Предварительное обжатие бетона в наших экспериментах[1] осуществлялось одним из трех способов:

- посредством длительного прессования бетонной смеси с помощью пустотообразователя специальной конструкции;

- прессованием бетонной смеси, производимым путем последовательного вдавливания в нее вдоль направляющего стержня стальных трубок, имеющих разные диаметры;
- посредством использования энергии расширяющегося цемента.

На первый взгляд кажется особенно привлекательным третий способ, поскольку он не требует дополнительного оборудования и изменения конструкции элементов и трудозатраты на их производство практически не увеличиваются. Однако широкое практическое использование данного способа сдерживают два известных специалистам фактора. Первый из них связан с тем, что величина создаваемого предварительного напряжения оболочки ограничена расширяемостью напрягающего цемента. В условиях реальной стройки ее сложно регулировать. При определенных геометрических и конструктивных параметрах сжатых трубобетонных элементов уровень предварительного обжатия бетона может оказаться недостаточным.

Второй фактор является еще более существенным. На сегодняшний день отечественным производителям не удается наладить выпуск однородных напрягающих цементов со стабильными свойствами. В связи с этим, в производственных условиях практически невозможно добиться устойчивых уровня обжатия бетонного ядра и степени предварительного напряжения стальной оболочки.

На практике самым эффективным оказалось применение длительного прессования бетонной смеси по второму способу (рисунок 2). Через отверстие в верхней торцевой крышке образца в отформованную бетонную смесь вдавливались три стальные трубки, имеющие согласованные между собой диаметры поперечных сечений. Для первой трубки в качестве направляющего служил стержень, заранее установленный коаксиально стальной оболочки образца. Для второй и третьей трубок направляющими служили соответственно первая и вторая трубка. Первые две трубки выполнялись с небольшими отверстиями в стенках. В процессе их вдавливания в бетонную смесь происходило ее прессование и через эти отверстия отжималась не связанная с частицами цемента вода (начальное В/Ц бетонной смеси уменьшалось с 0,42 до 0,38). Последняя трубка не имела отверстий в стенках. При ее вдавливании прессующее давление (в наших опытах порядка 2÷3 МПа) передавалось на внутреннюю поверхность стальной оболочки и происходило предварительное натяжение оболочки. После изготовления элемента она оставалась в качестве его внутреннего стержня, а направляющий стержень и трубки с перфорированными стенками извлекались и использовались для предварительного обжатия следующей конструкции.

Применение длительного прессования бетонной смеси, осуществляемое с использованием специально разработанной технологии, позволило существенно улучшить качество бетонного ядра и примерно на 60 % увеличить его прочность. В процессе прессования уменьшилась толщина цементной прослойки между зернами заполнителя, получилась мелкозернистая структура цементного камня лучшего качества с заметно меньшими размерами пор. Кроме того, прессующее давление, передаваясь через бетонную смесь, создало в стальной оболочке предварительные растягивающие напряжения. Немаловажно то, что при втором способе исключалась распрессовка бетона, имеющая место при способе 1.

В итоге получили предварительно обжатый бетон лучшего качества, с меньшим количеством пор, с большей прочностью. Конструкции лабораторных образцов трубобетонной колонны с диаметром поперечного сечения 219 мм и предварительно обжатым ядром (ПО ТБК), изготавливаемые с помощью одного из описанных выше способов, представлены на рисунке 3. Внутренний цилиндрический стержень, показанный в сечении В-В на этом рисунке, имел диаметр 44 мм и толщину стенки 2,2 мм.

Основные результаты испытаний этих образцов при действии кратковременной сжимающей нагрузки свидетельствуют о том, что практически для всех предварительно напряженных образцов наблюдалось заметное повышение предела упругой работы и разрушающей нагрузки по сравнению с ТБК классической конструкции. Несущая способность центрально сжатых образцов ПО ТБК оказалась в среднем на 20÷25 % выше по сравнению с

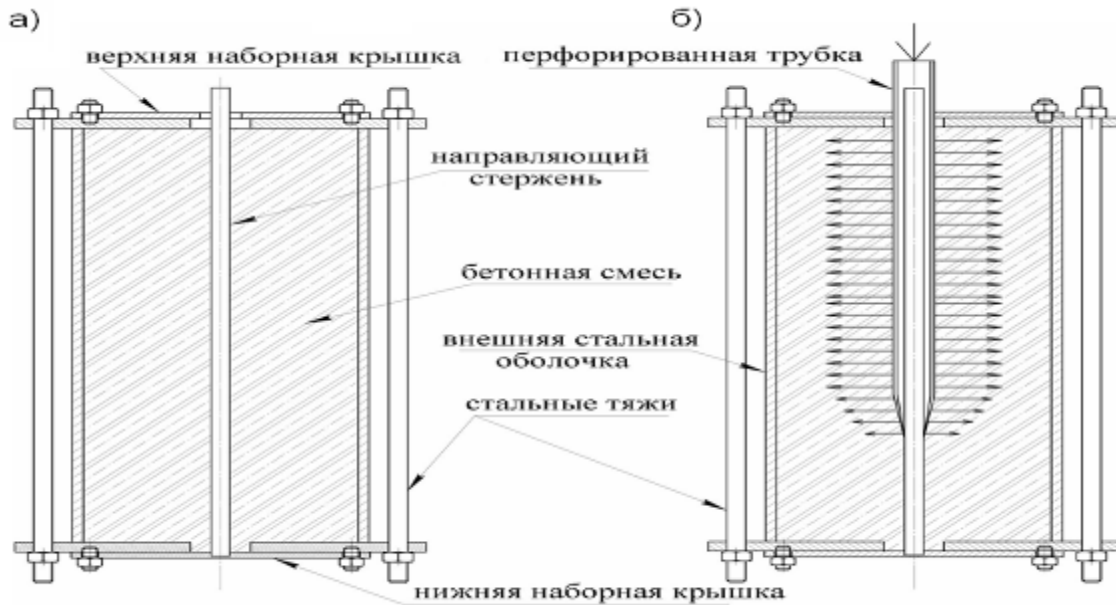


Рисунок 2 - Схема изготовления предварительно обжатых трубобетонных элементов: а – отформованный элемент; б – промежуточный этап прессования

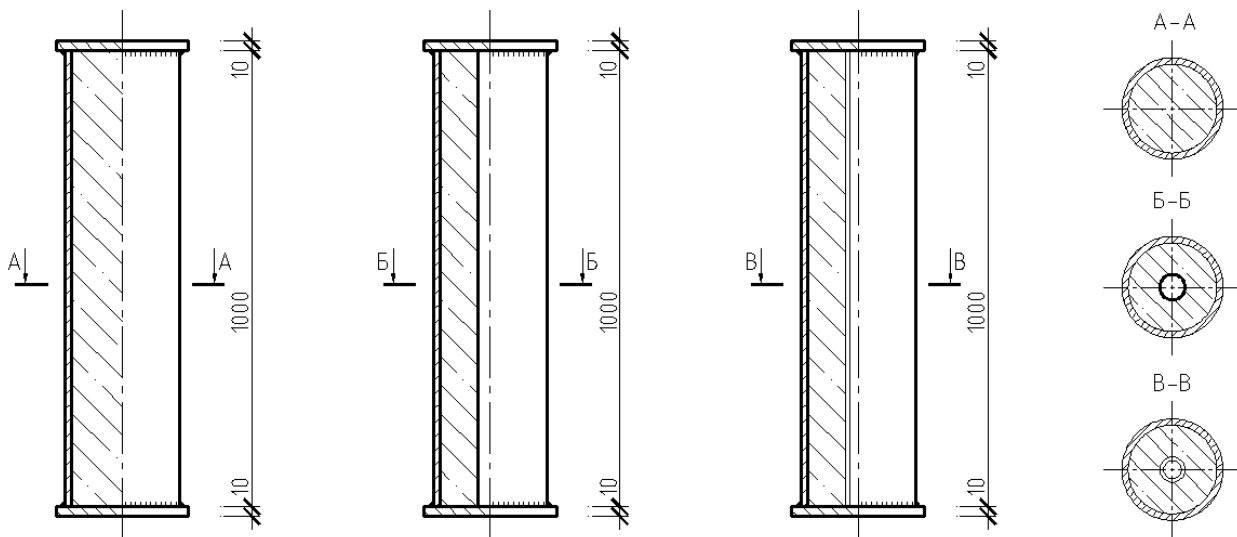


Рисунок 3 – Лабораторные образцы предварительно обжатых трубобетонных колонн

аналогичными образцами ТБК без предварительного напряжения. Уровень предела упругой работы повысился еще значительно – примерно на 30÷35 %. По сравнению с традиционными железобетонными элементами, имеющими аналогичные параметры бетона и арматуры, несущая способность увеличилась от 1,5 до 2,1 раз.

Полученные результаты объясняются значительным ростом прочности бетонного ядра в образцах ПО ТБК вследствие одновременного проявления трех эффектов: длительного прессования бетонной смеси, предварительного бокового обжатия бетонного ядра и его работой в условиях объемного сжатия. Прочность бетонного ядра в трубобетонных элементах новой конструкции возросла от 2,5 до 4,1 раз.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность предварительно ТБК, имеющих боковое предварительное обжатие бетонного ядра. За счет длительного прессования бетонной смеси в процессе ее твердения существенно улучшаются прочностные свойства

бетона, а стальная оболочка получает предварительное напряжение в поперечном направлении. Все это положительно сказалось на несущей способности коротких центрально сжатых трубобетонных элементов. С технологической точки способ длительного прессования бетонной смеси отличается стабильностью получения материалов с заданными свойствами и относительной дешевизной.

Библиография

1. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром / Монография. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 372 с.
2. Трубобетонные колонны высотных зданий из высокопрочного бетона в США // Бетон и железобетон. – 1992. – №1. – С. 29 – 30.
3. Kibriya. T. Performance of concrete filled steel tubes under uni-axial compression, IV Regional Conference on Civil Engineering Technologi, Joint ASCE/ESIE Conference. Cairo, Egypt, 2005. – pp. 171-177.
4. Микула Н.В. Напряженное состояние бетона, заключенного в стальную обойму: Дисс... канд. техн. наук. – М., 1986. – 192 с.
5. Харченко С.А. Напряженно-деформированное состояние трубобетонных элементов с упрочненными ядрами: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Минск, 1987. – 16 с.

Особенности расчета прочности трубобетонных колонн The features of calculation of concrete filled steel tube strength

УДК 624.075.23.042

Кришан А.Л.

Доктор технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Krishan A.L.

The Doctor of Engineering, the head of the department of construction designs, Magnitogorsk state technical university of G.I.Nosov

Аннотация

Расчет прочности трубобетонных колонн может быть выполнен на основе нелинейной деформационной модели железобетона. Аналитическое описание работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки выполнено для условий трехосного напряженного состояния. Получены основные зависимости для определения прочности сжатого бетона, заключенного в стальную обойму.

Abstract

The calculation of strength of concrete filled steel tube should be carried out on the basis of nonlinear deformation model of reinforced concrete. Three-axis tensely – deformed conditions are accepted for the analytical description of work of the concrete core and the external steel holder. The basic dependences, which allow to carry out the approximate calculations of the strength of compressed concrete filled steel tube on limiting efforts, are also resulted.

Ключевые слова

Трубобетонные колонны, предварительное обжатие, нелинейная деформационная модель, трехосное напряженное состояние, бетонное ядро, внешняя стальная оболочка.

Keywords

Concrete filled steel tube, preliminary pressed, nonlinear deformation model, three-axis tensely, concrete core, external steel holder

В литературном обзоре монографии[1] показано, что существующие методы расчета прочности сжатых трубобетонных элементов основаны на экспериментально полученных зависимостях и, следовательно, применимы лишь для ТБК традиционной конструкции. В данной статье излагается универсальный метод расчета прочности ТБК сплошной и кольцевой формы поперечного сечения, который может быть использован при кратковременном и длительном действии сжимающей нагрузки при любом характере их армирования и различных способах изготовления.

Расчет прочности ТБК, учитывая форму их поперечного сечения, наличие внешнего армирования и возможное использование дополнительного армирования бетонного ядра, в том числе стержневой и (или) жесткой арматурой, необходимо производить на основе нелинейной деформационной модели железобетона. При этом следует учитывать особенности деформирования бетонного ядра и стальной оболочки в условиях объемного напряженного состояния (рисунок 1). Основные зависимости, предлагаемые для расчета прочности, представлены в работе [1].

Здесь лишь отметим, что исходной базой для расчетов по нелинейной деформационной модели являются диаграммы деформирования « $\sigma - \varepsilon$ » для бетона и стали. Основной особенностью расчета сжатых трубобетонных элементов является отсутствие таких диаграмм для бетона и металла, работающих в условиях сложного напряженного состояния. В связи с этим расчет прочности предлагается выполнять в два этапа.

На первом этапе расчетным путем определяют зависимости между напряжениями и деформациями осевого направления в бетонном ядре и стальной оболочке при действии на трубобетонный элемент центрально приложенной нагрузки. Необходимые параметры указанных зависимостей рассчитываются из совместного решения систем уравнений, связывающих напряжения и деформации обоих материалов и записываемых в форме обобщенного закона Гука с переменными коэффициентами упругости и поперечных деформаций. При этом сталь рассматривается как изотропный материал, а бетон – как трансверсально-изотропный. Для разрешения этих систем дополнительно используются уравнения совместности деформирования бетонного ядра и стальной оболочки, а также уравнение равновесия проекций внешних сил и внутренних усилий на продольную ось элемента.

Практическая реализация предлагаемой методики расчета основывается на шагово-итерационном методе. На первом шаге значения коэффициентов упругости по разным направлениям принимаются одинаковыми.

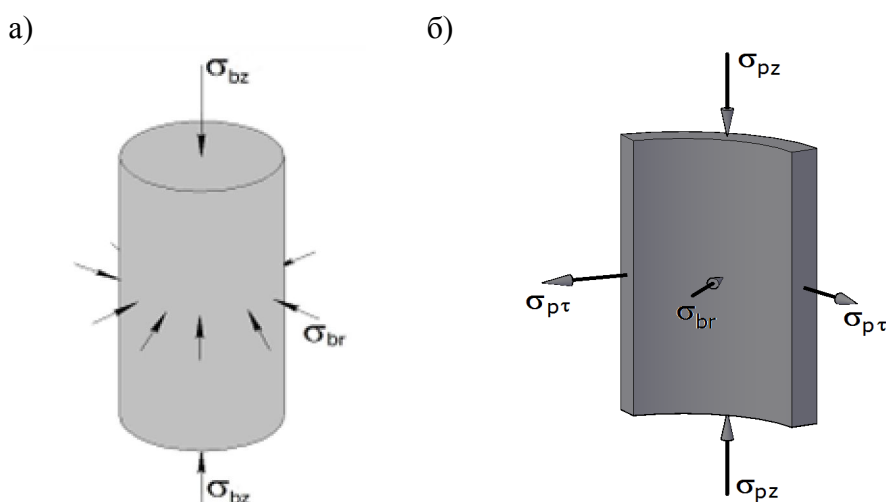


Рисунок 1 - Напряженное состояние бетонного ядра (а) и стальной оболочки (б) при осевом сжатии ТБК

а)

б)

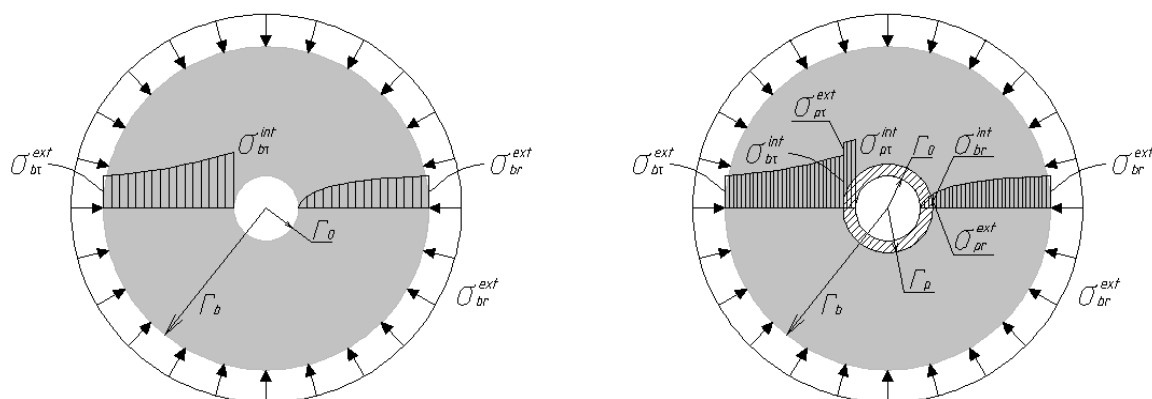


Рисунок 2 - Распределение трансверсальных напряжений по сечению бетонного ядра и стальной оболочки при осевом сжатии пустотелых ТБК: а – с ядром кольцевого сечения; б – с внутренним стальным стержнем кольцевого сечения

После приблизительной оценки напряженно-деформированного состояния в такой постановке, с помощью зависимостей, приведенных в [1], определяются значения коэффициентов упругости в вершинах соответствующих диаграмм. Это дает возможность на следующем шаге вычислять уточненные значения текущих коэффициентов упругости. Расчет повторяется до тех пор, пока не выполняется условие $|\sigma_{bzu}^{(k)} - \sigma_{bzu}^{(k-1)}| < \Delta$. В этом условии k – номер приближения, а Δ – заданная точность вычислений.

В результате такого расчета можно вычислить все компоненты напряженного состояния ТБК (см. рисунок 1), в том числе величину бокового давления стальной оболочки на бетон σ_{br} на любом этапе работы конструкции [3]. Именно от величины этого давления во многом зависят параметры диаграмм « $\sigma_{iz} - \varepsilon_{iz}$ » и для бетонного ядра ($i=b$) и для стальной оболочки ($i=p$).

Прочность объемно-сжатого бетонного ядра во многом зависит от величины возникающих в нем под нагрузкой трансверсальных напряжений. В центрально сжатом ТБК круглого сечения тангенциальные напряжения σ_{bt} по всему нормальному сечению бетонного ядра будут равны радиальным напряжениям σ_{br} , которые в свою очередь определяются величиной бокового давления стальной оболочки на бетон, вычисленной в месте их контакта.

В ТБК кольцевого сечения величина радиальных и тангенциальных напряжений по сечению конструкции будет меняться (рисунок 2,а). Закон их изменения можно принять по известному решению Ляме, которое для толстостенного цилиндра, нагруженного внешним давлением σ_{br}^{ext} и находящегося в упругой стадии, записывается в виде:

$$\sigma_{br} = \sigma_{br}^{ext} \left(1 - r_0^2/r^2\right) / \left(1 - r_0^2/r_b^2\right); \quad (1)$$

$$\sigma_{bt} = \sigma_{br}^{ext} \left(1 + r_0^2/r^2\right) / \left(1 - r_0^2/r_b^2\right). \quad (2)$$

Обозначение радиусов r_0 и r_b - принято по рисунку 2, r - текущий радиус.

Очевидно, что распределение радиальных и тангенциальных напряжений в бетонном ядре ТБК с внутренним стальным стержнем кольцевого сечения будет во многом определяться соотношениями геометрических и конструктивных параметров ядра и стержня. Рассмотрим приближенное решение по определению напряжений в поперечном сечении таких конструкций, нагруженных внешним давлением σ_{br}^{ext} (см. рисунок 2,б).

Обозначим модули упругости и коэффициенты Пуассона бетонного ядра и внутреннего цилиндрического стержня E_b , μ_b и E_p , μ_p - соответственно. С учетом выражений (1) и (2) для

определения радиальных и тангенциальных напряжений в бетонном ядре и внутреннем стержне кольцевого сечения предложим следующие зависимости:

$$\sigma_{ir} = m_i - n_i/r^2; \quad (3)$$

$$\sigma_{it} = m_i + n_i/r^2, \quad (4)$$

в которых m_i и n_i - неопределенные константы для бетонного ядра ($i=b$) и внутреннего стержня ($i=p$).

Эти константы можно найти из совместного решения систем уравнений (3) и (4) для бетонного ядра и внутреннего стального стержня с учетом условий их совместного деформирования (равенство радиальных деформаций в месте их контакта $u_{br} = u_{pr}$ при $r = r_p$), а также с использованием следующих граничных условий:

- $\sigma_{pr} = 0$ при $r = r_0$;
- $\sigma_{br} = \sigma_{br}^{ext}$ при $r = r_b$;
- $\sigma_{br}^{int} = \sigma_{pr}^{ext}$ при $r = r_p$.

С целью упрощения задачи уравнения для нахождения радиальных деформаций u_{br} и u_{pr} запишем для случая плоской упругой деформации. В этом случае они могут быть выражены через параметры m_i и n_i с использованием закона Гука

$$u_{ir} = (1 + \mu_i) \left[(1 - 2\mu_i) m_i + n_i/r^2 \right] r / E_i. \quad (5)$$

В результате такого решения получены следующие формулы:

$$m_b = \sigma_{br}^{ext} (p_5 E_p / E_b + p_2 p_3) / (p_4 E_p / E_b - p_1 p_3); \quad (6)$$

$$n_b = (m_b - \sigma_{br}^{ext}) r_b^2; \quad (7)$$

$$m_p = p_1 m_b + p_2 \sigma_{br}^{ext}; \quad (8)$$

$$n_p = m_p r_0^2, \quad (9)$$

в которых

$$p_1 = (r_p^2 - r_b^2) / (r_p^2 - r_0^2); \quad (10)$$

$$p_2 = r_b^2 / (r_p^2 - r_0^2); \quad (11)$$

$$p_3 = (1 + \mu_p) (1 - 2\mu_p + r_0^2 / r_p^2); \quad (12)$$

$$p_4 = (1 + \mu_b) (1 - 2\mu_b + r_b^2 / r_p^2); \quad (13)$$

$$p_5 = (1 + \mu_b) r_b^2 / r_p^2. \quad (14)$$

С помощью полученных зависимостей были вычислены трансверсальные напряжения σ_{ir} и σ_{it} в бетоне и стали образцов центрально сжатой трубобетонной колонны с диаметром

поперечного сечения 219 мм в зависимости от толщины стенки внутреннего стержня. Анализ результатов вычислений показывает, что снижение радиальных напряжений по сечению бетонного ядра при толщине стенки внутреннего стержня ≥ 2 мм, принятой в экспериментах, составляет не более 10 % и может не учитываться в расчетах прочности ТБК. Для толщины стенки 0,5 мм это снижение более существенно (64 %) и в расчетах должно приниматься во внимание.

Таким образом, основная особенность расчета прочности ТБК связана с необходимостью учета объемного напряженного состояния бетонного ядра и стальной оболочки. В предельном состоянии и прочность бетонного ядра, и значение осевого напряжения в стальной оболочке определяются величиной возникающих в бетоне под нагрузкой трансверсальных напряжений, которые могут быть найдены в зависимости от формы поперечного сечения ТБК в соответствии с предложенной в статье методикой.

Библиография

1. Кришан А.Л., Заикин А.И., Сагадатов А.И. Трубобетонные колонны высотных зданий: Монография. – Магнитогорск: ООО «МиниТип», 2010. – 195 с.

Динамика сооружений и проявление аспектов науки и безопасности в строительных объектах и процессах

Dynamics of structures and aspects of science and security in building objects and processes

УДК 624.042

Кулябко В.В.

Доктор технических наук, профессор Кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры

Kulyabko V.V.

Doctor of Engineering, professor of Chair of metal, wooden and plastic designs of Pridneprovsky state academy of construction and architecture.

Аннотация

В статье рассмотрены различные аспекты безопасности и научных исследований по этой тематике применительно к строительным объектам: зданиям и сооружениям. Рассмотрен перечень проблем безопасности, возникающих при проектировании (при традиционных расчетах на прочность и новых - на виброкомфорт объекта), строительстве, эксплуатации (динамическая диагностика, мониторинг технического состояния).

Abstract

The article deals with various aspects of safety and research on this subject in relation to construction projects: buildings and structures. Considered a list of security problems that arise in the design (the traditional strength calculations and new - on vibrocomfort object), the construction and operation (dynamic diagnostics, monitoring the technical condition).

Ключевые слова

Здания, сооружения, нагрузки, динамические характеристики, безопасность конструкций, виброкомфорт.

Keywords

Buildings, structures, loads, dynamic characteristics, safety, design, vibrocomfort.

1. Введение: о целях, проблемах, формах дискуссий

Цели данной статьи, во-первых, - пояснение пожеланий журналу (высказанных автором в честь выхода первого номера журнала в *открытом письме* в редакцию «Науки и Безопасности» (см. сайт журнала) со словами: «Какие *отрасли* и как влияют на различные «опасности»? Где встречаются аварии разных технических систем, «во что они обходятся и ... кому»? ..Не только технических, но и гуманитарных: медицинских, психологических, педагогических... Сравнение в жертвах людских, в ущербе материальном, социальном» [1].

Вторая цель - обсуждение и поддержка редакционного «весеннего *перечня направлений*» и рубрик журнала «Наука и Безопасность», более всего – первого пункта, промбезопасности, причем пока в одном узком смысле – динамики конструкций. А, вообще, - очень важно и замечательно, что журнал состоялся и редакция сразу взяла очень широкий «захват равноважной тематики».

Быстрая электронная *форма* сегодня позволяет сократить время пересылок-переписок-ожиданий в несколько раз и приближается к другим видам научных конференций, дистанционного обучения, общения с привлечением новых средств типа *Skype* и др. Заметим, что ещё одной весьма перспективной формой быстрого и качественного обсуждения специалистами инновационных разработок и злободневных дискуссий является форма *вебинаров* – например, представление новых программных комплексов для прочностных расчетов зданий и сооружений. Одна из таких конференций успешно была проведена летом 2012г. (с помощью системы Mirapolis Virtual Room, см. www.mirapolis.ru) организациями ООО «ЕВРОСОФТ» и ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко [2].

Конечно, ученые и специалисты, предвидящие какую-либо опасность для природы, страны, человечества (что не всегда четко и полностью совпадает и, поэтому, - является предметом пристального внимания читателей и авторов нашего журнала), должны найти в своих научных областях-темах резервы, перспективные разработки, идеи и подать важную информацию коллегам, включая коллег из смежных направлений. И тут, в благороднейших целях «всеобщей безопасности», вряд ли будут проявляться амбиции, местничество, снобизм, лоббизм, политиканство и прочие «болячки» современного научного «мира людей и фирм».

Политические аспекты и *хозяйственно-управленческие* вопросы хотелось бы наблюдать в журнале «Наука и Безопасность» как можно реже и только в том случае, когда они плотно связаны с развитием и процветанием (либо загниванием) науки, ведущей к повышению (либо снижению) уровня безопасности.

Какие же *области знаний и жизни, какие небольшие детальки и элементы* я попытаюсь здесь представить на обсуждение? Прежде всего – те, в которых происходят *динамические процессы*. Например, - *транспорт* и, особенно, - *строительство*. Ибо кандидатом технических наук я стал по «кошмару для инженера» (определение Гарина-Михайловского для движущегося поезда), - по созданию новых, мчащихся и колеблющихся, специализированных длиннобазных *вагонов* (советских грузовых поездов с большегрузными, до 30т, контейнерами, с сыпучими грузами и т.п.), а доктором – по обследованию, расчетам, динамическим испытаниям и диагностике новых и эксплуатируемых (уже разрушающихся старых) *зданий и сооружений* (мостов, башен, мачт, градирен и др. Далее, для простоты, под «сооружениями» будем здесь понимать и «здания»).

Конструкции строительные и транспортные, их динамика, прочность и комфорт! Эти две отрасли, видимо, «*равноопасны*» с позиций вредного воздействия на организм человека! Для них, в первую очередь, мне пришлось ещё в 1981г. на конференции в Пензе по охране труда обосновать и опубликовать слово «*виброэкология*»! Применительно к строительным объектам мы с проф. Казакевичем М.И. написали в 1996г. даже книгу [3].

Приятно отметить, что именно по строительству великолепный эмоциональный импульс - пример статей, с эпиграфами и захватывающими философскими формами, задал в первом же номере журнала выдающийся ученый-строитель-практик *Николай Николаевич Никонов*. Он обратил внимание на растущий после «развала Союза» «ералаш» в документации, лицензировании, тендерах и других моментах. Причем, затронул широкий спектр вопросов: от появления заказа на

строительство объекта до выбора проектировщика, контроля и защиты проекта, а также до всех последующих этапов полного «цикла жизни» сооружения.

Для строителей весьма ценной является и постоянная аналитическая информация сайта (ramag) и книг, статей, конференций РИСКОМ, ВЭЛД, АНО «НИИ «Промбезопасность», МГСУ и др. о разнообразных *обрушениях* с обсуждением причин наиболее заметных и поучительных случаев и ликвидации аварийности [4]. Можно только надеяться на дальнейшее терпение авторов направления и на хороший научный анализ наиболее резонансных «аварий месяца (недели?)» с широким («электронным») обсуждением и выводами применительно к условиям СНГ, что, несомненно, усилит образовательный эффект очень ценной всемирной информации.

Конечно, важны в предпринимаемых разговорах и все формы *образования* (средняя школа, ВУЗ, самостоятельное изучение), они нуждаются в привлечении к проблемам безопасности. Тут, кстати, в журнале «НиБ», видимо, полезной была бы рубрика по *изобретательству на службе безопасности*, по аналогии с темами занятий бывших кружков *ТРИЗ* (теория решения изобретательских задач) и *ТРТЛ* (теория развития творческой личности) с привлечением к этой рубрике энтузиастов (конкурсы инженеров, студентов, аспирантов, докторов наук!?).

Итак, в редакционном перечне направлений журнала «Наука и Безопасность» на первом месте стоит *«Промышленная безопасность»*. При обсуждении затрат на проектирование, реконструкцию, содержание промышленных объектов, по-видимому, определенным критерием промышленной безопасности должна быть своего рода гармония: *равноценность* и *равнонадежность сооружения* и его *«начинки»*. Особенно этот аспект легко забывается и не замечается «экономным заказчиком» при реконструкции, когда в старые стены, чуть-чуть подкрашенные, ввозится оборудование, цена которого превышает миллионы долларов. И в результате протечек и коррозии строительных конструкций возможная авария может привести к ущербу на порядок большему, чем была бы стоимость строительства даже нового здания [5,6,7].

К сожалению, человечество продолжает ставить *«физико-строительные» эксперименты*. Четверть века назад первая крупная «ошибочка» проявилась на АЭС Чернобыля. Казалось бы, все мудрецы и менеджеры этого направления засели за разработку новых правил, расчетов, экспериментов, «чтобы больше никогда...!»? Так нет же, через 25 лет в марте 2012г. что-то недосмотрели специалисты одной из наиболее технически грамотных стран – «сами японцы», см. АЭС «Фукусима-1»!

И опять у простых людей появляется недоверие и к физикам, и к строителям. Так, может быть, сразу исключать все потенциальные опасности каждого нового объекта с его инженерными решениями? Все эти конфайнменты, арки, сейсмоизолирующие корыта, поглотители-гасители ... - нельзя ли заранее отработать в экспериментальных лабораториях Динамики конструкций [8]?

Автору приходилось участвовать в совместных с Донбасской национальной академией строительства и архитектуры разработках методик расчета и конструирования линий электропередач (ЛЭП), высоченных опор для ЛЭП и открытых распределительных устройств (ОРУ). Надо признать, что эта отрасль *энергостроительства* также нуждается в большом внимании науки, ибо и в осенне-зимние, и в прекрасные летние вечера мы иногда слышим по радио грустные сообщения: «ветер... гололед... обесточено 400 населенных пунктов...». Все эти аварии сооружений при динамических нагрузках и воздействиях подталкивают автора давать сегодня в разработку соискателям *научные темы*, связанные со способами гашения колебаний, с расчетами нелинейных демпфирующих устройств.

Ко многим возможным причинам аварийного разрушения конструкций зданий и сооружений относятся, судя по анализу обрушений в работе [4], недостатки и проекта, и строительства, и эксплуатация объекта (и слабая нормативная база, отстающая от быстро меняющихся ситуаций).

Поэтому в данной работе, посвященной, по аналогии с работой [9], как *«вредной»*, так и *«полезной»* динамике сооружений, целесообразно вначале рассмотреть и, по-возможности, *классифицировать* сами виды динамических нагрузок и воздействий. Связать их с причинами *разрушения*, с причинами состояния, *близкого* к аварийному, с дискомфортом персонала и жильцов

сооружений от таких нагрузок. Этому посвящен раздел 2 статьи. Затем рассматриваются основные недостатки и пути совершенствования расчетов на динамические нагрузки, раздел 3. И, наконец, в разделе 4 и выводах, предлагаются *рекомендации* теоретического, экспериментального и организационного характера, направленные на снижение и предупреждение аварийности по различным причинам.

2. О неясной ситуации с нормированием и исследованием динамических нагрузок

Динамические нагрузки слабо изучены. *Косвенные* способы учета динамических нагрузок не отражают их суть и поэтому ошибки, заложенные в косвенных заменах могут также являться причинами аварий или не обоснованных расчетами удорожаний! В последние десятилетия, после фундаментальных работ и справочников-норм 80-х годов, появилось много новых нагрузок и воздействий!

Слабо изучены и не всегда правильно учитываются в расчетах (следовательно, также могут являться причинами аварий) нагрузки в их скрытой форме - различные *статико-динамические взаимодействия* строительных конструкций сооружения, например, :

1. С *грунтовыми* основаниями и его включениями (карстовые и иные пустоты, скалы, валуны, коллекторы и т.п.);
2. С потоками воздушных масс и *ветровой* нагрузки, при таком взаимодействии возникают сложные *аэроупругие* колебания, в т.ч. мощные *автоколебания* типа «*Такомской* аварии *висячего* моста» (пролет 854м; 1940 г.) и совсем простого *балочного* неразрезного моста в *Волгограде* (пролеты менее 170м; 2010 г.; в СМИ известен как «*танцующий*»). А как поведут себя новые мосты с пролетами в 2-3км и более (пролет строящегося моста в *Мессинском* проливе 3,3 км) ... [10]!?
3. С одиночными *порывами* ветра, пульсацией, связанной с формой обтекания и с жесткостью объекта, окружающим рельефом и пространственной планировкой и т.п. [11],
4. С неравномерными потоками инерционного и частично подрессоренного *транспорта*;
5. С пакетом передающихся по грунту (и по иным механизмам передачи) *сейсмо-волнами* природного и техногенного происхождения, в т.ч. и взаимодействие сооружений с такими их последствиями вблизи водоемов, как *цунами* [6].

Эти и многие другие типы взаимодействий сооружений с иными подсистемами и их сочетания порождают новые варианты динамических нагрузок, которые качественно и количественно могут отличаться, что затрудняет иные попытки их «*упрощенного*» *нормирования*, кроме непосредственного моделирования динамического взаимодействия объектов с фактическими параметрами во *временной* области с учетом всех видов *нелинейностей*. Рассмотрим некоторую упрощенную *классификацию динамических нагрузок и воздействий*, способных при определенных условиях вызвать аварии, разрушения зданий и сооружений. А также способных при меньших уровнях воздействий вызвать дискомфорт находящихся в них людей: болевые ощущения, снижение производительности труда [3], известны и требования в международных стандартах по допустимой вибрации (*уровень* и *временная «доза»*) в различных зданиях, в сооружениях типа морских платформ и др.

Моногармоническое силовое воздействие. Это типичное воздействие на строительные конструкции (обозначим их как «приемник вибрации П») от технологического оборудования («источник И»), которое, например, имеет вращающиеся с круговой частотой Θ и эксцентриситетом e массы $m_{вр}$. Амплитуда возмущающей силы при этом равна $P_0 = m_{вр} e \Theta^2$. Такой, наиболее известный из истории строительства, вариант соответствует работе электрических машин, центрифуг, вентиляторов, насосов, вибропогружателей и вибротрамбовок, виброкатков, механических и электродинамических вибраторов в составе виброплощадок, грохотов и др. *Опасность* работы такого вида машин (вплоть до аварийного разрушения) возникает, прежде всего, при резонансных явлениях (совпадении частоты вынужденных колебаний машины с одной из частот собственных колебаний поддерживающей конструкции перекрытия здания или моста, либо фундамента на упругом основании).

Моногармоническое кинематическое воздействие. Если источник **И** расположен без непосредственной передачи силы P_0 на приемник **П**, то он может передать некоторые гармонические кинематические перемещения (с запаздыванием или без него) опорным или иным точкам **П** через «механизм передачи вибрации **М**»: $И+М=П$.

Опасность такой динамической нагрузки аналогична предыдущему виду. Пример таких воздействий – некоторые участки сейсмограмм одночастотного характера. Этот вариант, связанный с сейсмически опасными территориями, пока что можно по нанесенным ущербам катастроф считать самым разрушительным видом воздействий на строительные объекты [6]. Кроме того, существуют многочисленные виды технологической, транспортной, городской и т.п. техногенной сеймики.

Бигармоническое (полигармоническое) воздействие. Такой вид динамических нагрузок имеет свои опасные стороны. Например, применение фрикционных демпфирующих устройств или соединений в условиях двухчастотной вибрации конструкций может оказаться бесполезным, так как силы *сухого трения* (при определенных режимах и соотношениях амплитуд скоростей высокой и низкой частот) могут *снижаться* на порядок, что может привести к аварийному состоянию объекта. В эксперименте по проверке эффективности работы узла на высокопрочных болтах нами был получен коэффициент трения «сталь по стали»: до приложения бигармонического воздействия 0.30, а во время его приложения - 0,03. Такое воздействие, например, на песчаное грунтовое основание приводит также к явлению, известному в грунтоведении как «виброразжижение песка».

Случайное динамическое воздействие. Этот наиболее общий и, безусловно, самый распространенный (всегда на сооружениях присутствует определенное фон, регистрируемый чувствительной виброизмерительной аппаратурой в виде *микросейсм*) процесс динамических воздействий является одним из наиболее сложных по форме и по сложности получения достоверных экспериментальных данных. Таковыми являются почти все природные причины (сейсмика, ветер, волны) и многие антропогенные (технологические, транспортные и др.). Собрать и обработать необходимый объем реализаций – трудный, но самый правильный путь. Однако, дальнейшее применение таких результатов входных воздействий затруднено даже для линейных задач, использующих метод конечных элементов (МКЭ) в пространственных моделях сооружения. Для *нелинейных* моделей сооружений, работающих с демпфирующими устройствами, вероятностный подход возможен *без применения линейной алгебры и различных способов линеаризации*, например, путем «прямых» исследований случайных откликов-реакций подсистем во *временной* области. *Опасность* для сооружений от случайных воздействий может возникать не столько от вида процесса, сколько от его *уровня*. Исключение – отмеченные выше явления типа вибрационного сглаживания сил сухого трения и др.

Импульсное одиночное воздействие. Одиночные *порывы* ветра и ураганов, торнадо; пиковые удары и перемещения при землетрясениях и цунами и т.п. Это – силовые импульсы. А *кинематическими* импульсами можно назвать возмущения от прохождения транспорта по одиночным неровностям пути, например, на конструкции моста, а также импульсы, передающиеся на сооружения через грунтовую или другую среду (механизм передачи) - забивка свай, способы уплотнения грунта трамбовками, промышленные взрывы и др. *Опасность* для зданий и сооружений представляет, во-первых, большая амплитуда силового или кинематического импульса, а, во-вторых, близость длительности импульса к периоду колебаний объекта по какой-либо из собственных форм.

Периодически повторяющиеся импульсные воздействия. Эти динамические нагрузки характерны определенным *периодом воздействий* силовых или кинематических импульсов, описанных выше. Работа различных штамп-машин, молотов, сваебойных копров. В этом случае возмущения от прохождения транспорта по *неровностям* пути моста повторяются в зависимости от длины звеньев *железнодорожного* пути («следы» от стыков остаются в виде силовых неровностей даже после сварки звеньев в плети бесстыкового пути) или от состояния *автодороги*. Аналогичными могут быть воздействия на ближние и дальние сооружения от любого рельсового транспорта, включая трамвайный, метро и т.п. *Опасность* появления таких воздействий связана с описанным

явлением резонанса, когда период повторения импульсов будет близок к периоду собственных колебаний конструкций.

Природные сейсмические воздействия. Практика мирового строительства показывает, что этот вид динамических нагрузок и воздействий является самым разрушительным для человечества. Он в какой-то мере включает в себя все перечисленные выше шесть видов воздействий. Существуют различные теории расчета интенсивности, магнитуд и шкалы балльности по относительным оценкам уровня, причин и последствий землетрясений. Выделим два основных метода расчета конструкций и сооружений на такую динамическую нагрузку: первый - *спектральный* метод, при котором по месту расположения строительной площадки и по виду основания сооружения на этой площадке определяется балльность; второй метод заключается в прямых динамических расчетах по *акселерограммам*, записанным в районе стройплощадки. Заметим, что отечественные ПК делают только первые шаги [2] по определению *ускорений* различных точек пространственных систем, да и то – только в линейной или линеаризованной (читай «ошибочной») постановках!

Сейсмика: промышленная, транспортная, городская. Ярким примером такого вида динамических нагрузок были колебания целого микрорайона (П), удаленного от источников И на 1-2 км. Автор исследовал механизмы передачи колебаний М от автодорожного и от железнодорожного транспорта, от промышленного фона и от десятков мощных компрессоров с числами 125 и 150 оборотов в минуту. Кривошипно-шатунный механизм каждого поршневого компрессора «выдавал» амплитуду возмущающей горизонтальной силы до 100 тс на окружающую среду через подошву фундамента размером в плане порядка 12x18м.

Оказалось, что возле цеха этих источников на грунте динамические перемещения достигали амплитуд 600 мкм, на отмостке исследуемого здания больницы (более 1 км от завода) они уменьшались до 5-10 мкм, но из-за резонанса с одной из собственных форм 9-ти этажного здания (вращение в плане) покрытие «имело» в момент проведения динамических испытаний до 200 мкм! (Иные источники в данном примере передавали вибрацию на порядок меньшую). Важно отметить, что к разрушению здания больницы эта пром-сейсмика не привела, но весьма вредно сказывалась на операциях и медикаментозном лечении. Измеренные уровни ускорений около $0,05 \text{ м/с}^2$ предельно допустимы для обычных зданий, но не для больниц.

Следует подчеркнуть слабую устаревшую нормативную и расчетную базу для решения проблем, связанных с колебаниями городских и источников, и механизмов, и приемников (И, М, П)!

Подвижные нагрузки (к которым можно отнести и часть рассмотренных выше) вообще весьма разнообразны и «мало поддавались инженерным корректным расчетам за последние 165 лет» (дата крушения в Англии поезда при проходе по Честерскому мосту). К ним следует отнести весь рельсовый и колесный транспорт, движение толпы пешеходов, воздушные потоки, взрывные ударные волны, ветровые волны морей и океанов, цунами и др. К сожалению, мало имеется ещё методик и предложений по корректному учету именно скоростного взаимодействия *инерционных* носителей потоков и средств с *инерционными* конструкциями - с учетом случайных интервалов, запаздывания и т.п. Нуждаются в совершенствовании и модели динамического взаимодействия зданий и сооружений (вспомним взаимные столкновения зданий и обвал эстакад при землетрясении в японском городе Кобе в 1995 г.) с подвижными мостовыми и башенными приставными кранами.

Прогрессирующее разрушение строительных конструкций и сооружений объединим для сокращения классификации с локальными динамическими воздействиями антропогенного типа и ударами по конструкциям, сооружениям, основаниям. Отметим, что эта группа – одна из самых «новых», поэтому - мало изучена, но весьма опасна и сложна по динамике воздействий.

3. Прочность и виброэкологический комфорт сооружений – альтернативные подходы и метод динамического формообразования (МДФ)

Тема данной статьи, конечно, обозначена чрезвычайно сложной. Но это не значит, что ее следует избегать. Ее нужно изучать и обсуждать как можно чаще, чтобы не повторять аварий, перечисленных в работах [4,6], уменьшать ущерб от типично «динамических» катастроф:

А) *Такомской* аварии *висячего* большепролетного моста (в Интернете можно посмотреть видео-файл с демонстрацией этой аварии 70-летней давности). Здесь причиной обрушения были слабые знания инженеров-проектировщиков о взаимодействии конструкций сооружения нового типо-размера с набегающим ветровым потоком, т.е. человечество и строители при помощи этой аварии приобрели новый (хотя и печальный) опыт в «аэродинамической задаче» и природном явлении;

Б) *цунами* в Юго-Восточной Азии с высотой волн 15м в декабре 2004г. унесло жизни **225 000** человек. И здесь причина – природа. (Добавим, что в середине августа 2009г. почти в том же месте Индийского океана было зафиксировано новое землетрясение около 8 баллов; оно «откликнулось» на востоке России, в Японии, в Черном море);

В) разрушение высоток Всемирного торгового центра в *Нью-Йорке 11 сентября 2001г.* было вызвано никак не природными воздействиями, а *террористическим* актом, т.е. человечество в явном виде столкнулось с проявлением проблемы неустойчивого развития общества. Если первые два случая связаны как бы с неизбежным - природными явлениями, то последний – с нарочитым: разрушительным воздействием террористов на сооружения с массовым уничтожением мирного населения.

Но важно отметить здесь *один из резервов для общества*. Оказывается, что некоторые аварии и обрушения, произошедшие без особых внешних динамических нагрузок, можно было (при помощи либо *грамотного модального анализа проекта* сооружения, либо при специальных приемочных *динамических испытаниях*) *предвидеть* еще на предпроектной стадии и *предотвратить* если не в ходе проектирования, то, конечно, не позже этапа сдачи в эксплуатацию. Ниже описан предложенный лет 20 назад метод динамического формообразования (МДФ), который позволил бы избежать, например, нашумевшего обрушения *оригинальных* (следовательно, опять мало изученных!) конструкций «*Трансваальпарка*» в Ясенево (см. рис.), где 14 февраля 2004 г. погибло более 60 человек.



Например, требования в виде рекомендаций ISO [12] для динамических характеристик высоток – существуют как «слепок» со 163 лучших зданий мира! Правда, пока – только для зданий с

прямоугольным планом! Как бы хотелось и у нас пройти с виброизмерительным оборудованием по всем высотным зданиям СНГ и найти хотя бы десяток, в которых соблюдены эти рекомендации о частотах собственных форм и порядке относительного их расположения на частотной оси! Кстати, суть подобных рекомендаций была описана в работе [13] и «иллюстрировалась» аварией московского аквапарка, где не был инженерно-логичным порядок расположения форм собственных колебаний здания. Ясно, что большепролетное тяжелое покрытие *надо было* так «опереть» на жесткие несущие опорные конструкции, чтобы частоты форм горизонтальных и вращательных в плане перемещений диска покрытия превышали низшую частоту изгибных вертикальных колебаний покрытия.

Метод *МДФ* предполагает выполнение не только рекомендуемых частот и форм собственных колебаний всего объекта (а количественные советы ISO даны пока только для высотных зданий с прямоугольным планом, см. пример в работе [13]), но и в его расширенном варианте - поиск особенно *слабых конструктивных мест* и решений. Этот метод *надо бы срочно развивать и расширять* на все основные типы зданий и сооружений, т.к. он является вспомогательно-альтернативным, *дополняющим* не всегда достоверные и во многом устаревшие данные о динамических *нагрузках* и часто меняющихся инженерных нормах, методах расчетов и конструктивных решений объектов, запроектированных, как правило, с помощью «обычных методик» для простых малогабаритных сооружений. Следовательно, метод *повышает надежность и безопасность* строительных конструкций.

Здесь важны ещё и другие, также пока альтернативные, подходы. Например, подходы работ А.В. Перельмутера по надежности и поиску слабых элементов, см. [5]; работ по уточнению результатов динамических испытаний при их обработке – тут весьма перспективное направление открывают исследования одного из соискателей автора – см. работу [14]; работ по расчетам нелинейных демпфирующих устройств [15-18] и др.

4. Выводы и предложения

Итак, в данной статье пропагандировалась НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ общества и инженеров-строителей К ДИНАМИКЕ СООРУЖЕНИЙ. Какие же можно сделать ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ по рассмотренным вопросам?

1. *Динамика* – прекрасный и яркий объект для обучения строителей сложнейшим эффектам поведения сооружений и для компьютерного тренинга по важнейшим вопросам безопасности объектов (причем, для всех должностей и уровней: от студента до главного инженера)!

2. Виды и величины *динамических нагрузок* меняются очень быстро из-за быстрых изменений самого общества, климата планеты, и технологий размеров сооружений, мощностей и скоростей техники и т.п. Это, очевидно, должно оперативно отражаться в *регулярном пересмотре* нормативов, программных комплексов и справочно-учебной литературы.

3. *Расчетные программные комплексы*, как и все конечные продукты (например, лекарства), должны давать пользователю *полную информацию о недостатках ПК* и о вносимых *погрешностях* при использовании ПК в различных задачах, моделях и сооружениях. В частности, в различных задачах динамики сооружений следует пояснять принятые линейные или *нелинейные* (и какие виды нелинейностей) алгоритмы и давать соответствующие ПОСОБИЯ и ПРЕДОСТЕРЕГАЮЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по *динамическим расчетам реальных ответственных сооружений*:

- а) из разных материалов (с существенно различающимися диссипативными свойствами);
- б) со специально *настраиваемыми* виброизоляторами, гасителями, поглотителями и т.п.;
- в) с *разрывами* узлов и связей (односторонних и сложно-двусторонних при их восстановлении в иных точках подсистем);
- г) с переменными контактами при взаимодействии конструкций с *транспортными средствами*, с адаптивными (включающимися, выключающимися) связями *сейсмостойких сооружений*;

д) при нелинейных колебаниях систем с переменной структурой (массой, жесткостью, трением) во временной области.

4. Особую пользу может принести *новое* направление ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИКИ как *диагностического* инструментария:

а) по косвенной оценке *качества* (прочности и виброкомфортности) сооружения путем анализа некоторых динамических характеристик основных несущих конструкций *архитектурно-строительного проекта*, его рабочих чертежей (основных сечений, масс и жесткостей) и расчетной пояснительной записки – оценка производится в соответствии с рекомендациям международных стандартов ISO и других исследований; такая оценка является дополнением и альтернативой обычным расчетам, повышая безопасность объекта (вплоть до определения его сроков службы и *остаточного ресурса*);

б) по оценке *изменения жесткости, массы, диссипативных свойств* сооружения;

в) по поиску *дефектов* в сооружении путем проведения активной или пассивной *вибродиагностики*;

г) по динамической (сейсмодинамической, виброэкологической, технологической и т.п.) *паспортизации* сооружения;

д) по проведению непрерывного динамического *мониторинга* технического состояния конструкций и *зонинга* территорий..

5. Сложные явления динамики (её вред и её пользу) сооружений целесообразно изучать, развивая применение метода динамического формообразования (МДФ), прогнозируя эффект снижения колебаний методом динамического конструирования (МДК) с нелинейными расчетами и проверкой в специальных лабораториях и на натуре методом динамической диагностики (МДД).

6. Целесообразно в рамках СНГ согласовать задачи, структуру и объёмы (финансирования и единого приборного обеспечения, например, в технополисах) для создания сети **УЧЕБНО-НАУЧНЫХ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ** по безопасности сооружений, в частности, - по исследованию ДИНАМИКИ сооружений со следующими их функциями:

а) в части **КОНТРОЛЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И ОБОБЩЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК** - обоснование и сбор-классификация динамических нагрузок (в том числе – новых транспортных, технологических, аэродинамических, лавинообразных, террористических);

б) тестирование известных программных комплексов (ПК) и развитие новых специализированных ПК по нелинейным динамическим расчетам во временнОй области с разработкой рекомендаций и пособий;

в) развитие методик создания и типовых вариантов применений различных демпфирующих, защитных, сигнальных и т.п. конструктивных устройств и способов их нелинейных расчетов с экспериментальными проверками в лабораторных и натуральных условиях эксплуатации опытных образцов конструкций и их типизацией по видам сооружений!

Пояснение: Прекрасные для своего времени (30 лет назад!) справочники проектировщика по динамическим расчетам зданий и сооружений, изданные ЦНИИСКом в 1981, 1984 (переработано первое издание 1972г.), и 1986 годах, конечно, должны регулярно перерабатываться и переиздаваться, т.к. всё время меняются и специальные динамические нагрузки (1981), и специальные инженерные сооружения (1986) и, уж тем более, – расчетные динамические модели, свойства и характеристики объектов из разных материалов и конструкций (1984). Если же не удастся повторить «союзные» тиражи, то следует попытаться создать неторопливые и взвешенные электронные версии с помощью наработок создателей электронного журнала «Наука и безопасность»! (Тематика задач Лаборатории Динамики была опубликована, например, в сборнике МОО ПК и РААСН №11 под ред. Шугаева В.В., НИЦ «Строительство», в 2008 г., с.269-278).

7. При Лабораториях ДИНАМИКИ обеспечить систематическую работу инженерных курсов повышения квалификации силами приглашенных лекторов с чтением *спецкурсов* (параллельно с показом экспериментов на стендах и теоретических решений на компьютерах)! (О вариантах

названий спецкурсов см. в статье и докладе автора в 2012г. на Международной конференции «Мосты и тоннели» в ДИИТе, Днепропетровск).

8. Особое внимание в вузах и лабораториях следует уделить созданию приборов и подготовке кадров по динамической диагностике, по динамической паспортизации, по динамическому непрерывному мониторингу конструкций и зонингу территорий.

Библиография

1. Кулябко В.В. Открытое письмо в редакцию журнала «Наука и Безопасность». 2011. - 2 с., – см. меню сайта www.art-ais.com.
2. Онлайн-семинар 12 июля 2012 «Новые возможности ПК СТАРКОН 2012». - www.eurosoft.ru.
3. Казакевич М.И., Кулябко В.В. Введение в виброэкологию зданий и сооружений. - Днепропетровск: ПГАСА, 1996. - 200 с.
4. Еремин К.И. Хроника аварий зданий и сооружений, произошедших в 2009г. // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов, вып.9. – М.: РААСН, ВЕЛД. – 2010. – С. 5-15.
5. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. – Киев: Изд-во «УкрНИИпроектстальконструкция», 1999. – 212с.
6. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Бабик К.Н. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / ред. Немчинов Ю.И. К.: изд.«ГудименкоС.В.»,2012, 384с.
7. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений / под ред. Акад. РААСН, д.т.н. проф. В.И. Теличенко и д.т.н. проф. К.И. Ерёмина / М.: МГСУ. – 2011. – с.428.
8. Кулябко В.В. Обоснование проекта и практические задачи учебно-научных лабораторий динамики конструкций / «Вибрация машин: измерение, снижение, защита» / Журнал (российско-украинский) ДНТУ – Ассоциация механиков, Донецк. – вып. №4(7). – 2006. – С. 54-58.
9. Кулябко В.В. Динамика – и причина аварий сооружений, и путь их предупреждения // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов, вып.9. – М.: РААСН, ВЕЛД. – 2010. – С. 86-90.
10. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов = Aerodynamics of bridges : краткий курс лекций / Казакевич М.И. – Днепропетровск: Изд-во «Акцент», 2012. – 188 с
11. Махінько А.В. Імовірнісний розрахунок баштових опор зв'язку = Probabilistic Design of Communication Towers: монографія // А.В. Махінько. – Полтава: «ПолтНТУ», 2012. – 410с.
12. ISO 4866:1990 /Amd.1:1994. Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement vibrations and elevation of their effects on buildings.
13. Кулябко В.В., Диденко И.В. Поиск рациональных схем и параметров силовых конструкций высотного здания методом динамического формообразования / Proc. 13th Ukrainian-Polish transactions (conference). "Teoretical Foundations in Civil Engin." Warsaw (Poland), №13, 2005. – с.192-200.
14. Редченко В.П. Развитие методов динамических испытаний мостов и алгоритмов спектрального анализа для обработки их результатов. Автореф-т ...д.т.н. Редченко В.П., защита успешно прошла 8 июня 2012г. в специализированном совете ПГАСА по специальности 05.23.01.
15. Кулябко В.В., Ярошенко Д.С. О моделировании задач динамики и устойчивости сооружений с нелинейными демпфирующими и защитными устройствами / Наук. зб-к "Theoretical Foundations in Civil Engineering", Polish-Ukrainian Transactions, Vol. 19. – Warsaw, 2011. – С. 131-142.
16. Кулябко В.В., Ярошенко Д.С. О дискретизации динамических моделей (на примерах балок и рам) при необходимости учета различных видов нелинейностей / в сб. Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование, применение):

- Сб. статей. Вып.13 / под ред. В.В.Шугаева и др. / МОО ПК, РААСН, НИИЖБ, ЦНИИСК - М.: СКАД СОФТ. - 2012. – С.130-139.
17. Кулябко В.В., Ярошенко Д.С. Об эффективности способов гашения колебаний сооружений / Зб. Наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. Редколегія: С.Ф.Пічугін (гол. ред-р) та інші. – Вип.2 (32), т.2. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С.204-212.
18. Кулябко В.В., Ярошенко Д.С. Нелинейные колебания во временной области модели взаимодействия сооружения с демпфирующими устройствами / Міжвідомчий наук.-техн. зб. Будівельні конструкції / Будівництво в сейсмічних районах України. – 2012. – вип. 75. Київ, ДП НДБК, 2012. – 6с.

Анализ риска для обоснования минимальных безопасных расстояний от магистральных трубопроводов до населенных пунктов, зданий и сооружений

Using of risk analysis to justification the minimum safety distances from the main pipelines to the settlements, buildings and installations

УДК 629.10.061:517.0042

Савина А.В.

Аспирант, научный сотрудник

Savina A.V.

Graduate student, research associate

Лисанов М.В.

Доктор технических наук, директор центра анализа риска

Lisanov M.V.

Doctor of Engineering, director of the center of the analysis of risk

Сумской С.И.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Sumskoi S.I.

Candidate of Technical Sciences, senior research associate

Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности»

Closed joint stock company «Scientific and technical center of researches of problems of industrial safety»

Аннотация

Приведен обзор методических подходов к определению безопасных расстояний от магистральных трубопроводов до населенных пунктов, производственных и транспортных объектов. Представлены результаты количественной оценки риска аварий с выбросом сжиженных углеводородов при обосновании безопасности проектируемых трубопроводов

Abstract

This article provides the review of the methodological approaches to the problem of safety distances determination from the main pipelines to the settlements, industrial and transport facilities. The results of quantitative risk analysis of the accidents with liquefied hydrocarbon emission used for safety case of the designed pipelines are presented

Ключевые слова

Магистральные трубопроводы, риск аварии, минимальные безопасные расстояния.

Keywords

Main pipelines, risk analysis, the minimum safety distance.

В России создана, функционирует и развивается уникальная по протяженности, производительности и безопасности система магистральных трубопроводов (МТ). Анализ аварийности показывает, что аварии с гибелью людей на российских МТ достаточно редки [1], однако в условиях их прокладки вблизи населенных пунктов, объектов производственной и транспортной инфраструктуры не исключена возможность поражения людей при аварии.

Одной из важных проблем обеспечения промышленной и пожарной безопасности при проектировании и строительстве МТ является установление минимальных безопасных расстояний⁴ от оси МТ до соседних сооружений и объектов. Требования к обоснованию минимальных безопасных расстояний, в том числе на основе моделирования и расчета последствий аварий, содержатся в ряде нормативных правовых документов [2–4].

Рассмотрение существующих подходов и анализ возможных способов определения безопасных расстояний от МТ до объектов воздействия (населенных пунктов, производственной и транспортной инфраструктуры) указывает на их непосредственное сопоставление с возможными зонами действия поражающих факторов аварий на МТ, которые устанавливаются на основе:

- фактических данных о зафиксированных при авариях зонах поражения («апостериорный» подход);
- расчетов максимальных размеров зон поражения;
- количественной оценки риска (КОР) аварий.

Достоверность данных в первом случае базируется на представительности статистических данных об известных крупных авариях на МТ, во втором — на расчете и моделировании последствий аварий с наиболее протяженными зонами поражения, в третьем — на учете вероятности возникновения аварии с определенными последствиями и использовании критериев приемлемого (допустимого) риска. В любом из этих подходов могут использоваться «коэффициенты запаса», компенсирующие неполноту существующих знаний и представлений.

Рассмотрим применение обозначенных выше подходов к установлению минимальных безопасных расстояний для разных видов МТ (газо-, нефтепроводы, трубопроводы сжиженных углеводородных газов⁵) и в каких случаях преимущественно используются обозначенные выше подходы к установлению минимальных безопасных расстояний.

Наиболее распространенным и устоявшимся способом является определение безопасных расстояний исходя из опыта происшедших аварий на аналогичных объектах. Этот подход частично (совместно с моделированием последствий) реализован в пп. 3.16, 12.3* СНиП 2.05.06—85* «Магистральные трубопроводы»⁶.

Анализ происшедших достаточно многочисленных аварий на магистральных газопроводах (МГ) показывает, что размеры зон поражения людей (разлет осколков, тепловое излучение от горения струй) лежат в диапазоне от 100 до 350 м от оси трубы и определяются в первом приближении диаметром и давлением в трубопроводе. В данном случае достаточно представительная статистика аварий не требует, как правило, применения дополнительных

⁴ Под минимальным безопасным расстоянием понимается минимальное допустимое расстояние от оси линейной части магистрального трубопровода до соседних зданий, строений, сооружений, населенных пунктов, транспортных путей, устанавливаемое в целях обеспечения безопасности людей

⁵ В том числе трубопроводы, транспортирующие широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ)

⁶ Согласно реформе технического регулирования табл. 4* и 20* СНиП 2.05.06—85*, регламентирующие минимальные расстояния от оси МТ до населенных пунктов, отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений, исключены из Перечня национальных стандартов и сводов правил, обязательных для применения, по распоряжению Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 1047р.

«коэффициентов запаса» по безопасности, и минимальные безопасные расстояния принимаются эквивалентными максимальным наблюдавшимся зонам поражения [5].

Опыт аварии под Уфой в 1989 г. обозначил повышенную опасность выбросов сжиженных углеводородных газов (СУГ), связанную с мгновенным вскипанием перегретых жидкостей и образованием протяженных облаков тяжелых газов, способных распространяться у поверхности земли с сохранением способности к воспламенению на расстоянии в несколько километров [6]. Следствие этой катастрофы — десятикратное увеличение нормативных значений безопасных расстояний от МТ СУГ до объектов с присутствием людей.

Второй способ установления минимальных безопасных расстояний для МТ — расчет зон поражения при максимальной гипотетической аварии (МГА) с рассмотрением конкретного участка трубопровода (профиль трассы, задвижки и т.д.), свойств транспортируемых углеводородов, технологических параметров перекачки, условий окружающей среды и действий по локализации и ликвидации аварии. «Коэффициент запаса» по безопасности в этом случае неявно заложен в допущениях и предположениях о возникновении и развитии аварии и определяется степенью пессимистичности при выборе рассчитываемого сценария МГА.

Данный детерминистский подход основан на расчете сценария с полным разрушением МТ и максимальной дальностью распространения поражающих факторов при аварийных выбросах опасных веществ.

В табл. 1 приведены примеры рассчитанных по программному комплексу ТОКСИ+ [7, 8] зон смертельного поражения человека при авариях на отдельных участках МТ по данным деклараций промышленной безопасности и отчетам по КОР.

Среди основных поражающих факторов, характерных для аварий на МГ, наиболее значимым по размерам зон поражения является термическая радиация от горящих струй газа, а для магистральных нефтепроводов (МН) и МТ СУГ — термическая радиация при воспламенении облаков топливно-воздушных смесей (ТВС).

Основанный на анализе последствий аварии подход также применим для определения безопасных расстояний для «типового» участка МГ, так как расстояния, установленные по расчетам термического поражения от горящих струй газа, незначительно отличаются от расстояний, зарегистрированных при авариях, а результаты расчета по модели [9] имеют меньший набор исходных данных и принятых допущений по сравнению с моделями расчета последствий аварий на МН и МТ СУГ.

Таблица 1

Последствия аварии	Поражающий фактор	Зона действия поражающего фактора, м
МГ DN 600, P = 5,7 МПа		
Расширение газа	Барическое воздействие	5
Осколки	Механическое воздействие	30
Горение струи	Термическое воздействие	250
Пожар в котловане	То же	130
МН DN 1000, P = 6,3 МПа		
Пожар пролива	Термическое воздействие	140
Воспламенение облака ТВС	То же	200
МТ ШФЛУ DN 700, P = 5,5 МПа		
Пожар пролива	Термическое воздействие	200
Воспламенение облака ТВС	То же	2400
Горение струи	«—»	300

Третий способ обоснования минимальных безопасных расстояний основан на использовании КОР, позволяющей оценить возможность возникновения аварии, в том числе МГА.

На рассматриваемом участке трассы МТ рассчитываются варианты выброса для всего диапазона размеров дефектных отверстий (от свища до гильотинного разрыва трубопровода) и все возможные исходы аварий. При моделировании распределения в пространстве зон действия поражающих факторов учитываются вероятность возникновения аварии и условная вероятность развития аварии по тому или иному сценарию. Критерии поражения человека определяются по пробит-функции.

В качестве безопасного принимается расстояние, на котором рассчитанное значение потенциального риска гибели человека не превышает уровня, заданного в качестве допустимого. Согласно п. 4.2.6 Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418—01) критерии приемлемости риска аварии определяются на основе нормативных правовых документов (например, для МТ горючих веществ целесообразно учитывать критерии [4]) или обосновываются в проектной документации, исходя из опыта эксплуатации аналогичных объектов.

Практика использования КОР [10, 11] по модели, основанной на [9, 12], при декларировании и разработке специальных технических условий показала, что размер зон поражения и тяжесть последствий при авариях на МТ, определяющие минимальные безопасные расстояния, связаны с технологическими параметрами трубопровода (диаметр, давление), характеристиками перекачиваемого продукта, в том числе пожаро-, взрывоопасными или токсическими свойствами, агрегатным состоянием в трубопроводе (газ, жидкость, в том числе сжиженный газ); особенностями окружающей местности (рельеф); метеоусловиями (температура воздуха, скорость и направление ветра, стратификация (устойчивость) атмосферы); уязвимостью объектов воздействия (наличие селитебных зон, производственных объектов, транспортной инфраструктуры); эффективностью системы обнаружения и ликвидации утечки, действий персонала.

Отметим, что значимость указанных факторов зависит от вида МТ (МГ, МН или МТ СУГ). Например, основными факторами, определяющими сценарии развития аварий на МГ и зоны поражения людей являются: несущая способность грунта, давление в месте разрыва, расположение места разрыва относительно компрессорных станций и линейных запорных кранов, а метеорологические факторы (скорость и направление ветра, класс стабильности атмосферы, влажность воздуха) влияют незначительно [9].

Напротив, для МТ СУГ, наибольшая аварийная опасность которых определяется возможностью дрейфа и воспламенения облаков ТВС, размеры зон поражения существенно зависят от метеорологических факторов в момент аварии. В табл. 2 представлены расчеты размеров зоны дрейфа облака пропана при различных метеоусловиях, полученные по РД-03-26—2007 [13].

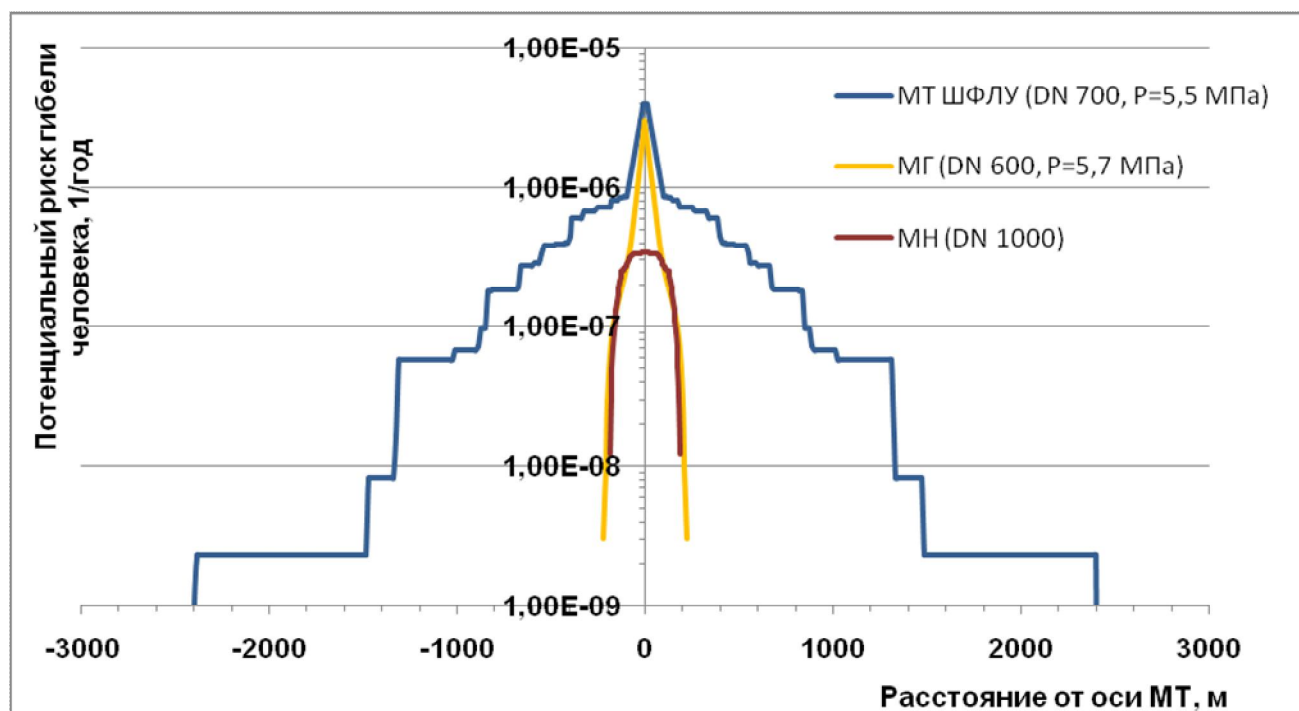
Таблица 2

Метеорологические условия ⁷	Условная вероятность реализации метеоусловий для данной местности	Расстояние дрейфа, на котором достигается концентрация 0,5 НКПВ, м
1 F	0,05	2400
1 A	0,05	1500
3 D	0,4	1050
5 D	0,4	850
10 D	0,1	650

7

Скорость ветра (м/с) на высоте 10 м и класс устойчивости атмосферы по Паскуилу [14]

На графике ниже представлены зависимости потенциального риска гибели людей при авариях на отдельных участках МТ СУГ (ШФЛУ), МГ и МН от расстояния до оси этих трубопроводов.



По графику видно, что для МГ и МН вероятностные оценки для определения безопасных расстояний не требуются: в связи с резким спадом потенциального риска в проекции поперек оси трубопроводов, безопасные расстояния, определенные по детерминистскому и вероятностному подходам, практически совпадают. В то время как зоны действия поражающих факторов аварий на МТ СУГ варьируются от нескольких сот метров до 2,5 км, при этом потенциальный риск различается на данных расстояниях на два-три порядка.

В табл. 3 представлены нормативные и расчетные значения минимальных безопасных расстояний, полученные при КОР проектируемых и реконструируемых продуктопроводов ШФЛУ.

Таблица 3

Параметры трубопровода	Район прокладки трубопровода	Расстояние по СНиП 2.05.06—85* (до населенных пунктов), м	Зона действия поражающих факторов при МГА, м	Расстояние, м, на котором достигается потенциальный риск гибели человека, год ⁻¹		
				$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$
DN 250, $P_{\text{раб}} = 1,8$ МПа	Самарская обл.	2000–3000	1050	990	460	230
DN 500, $P_{\text{раб}} = 3,3$ МПа	Ямало-Ненецкий автономный округ	Не определено (для продуктопроводов DN 400 минимальные расстояния сближения с населенными пунктами составляют 3000–5000 м)	1150	1000	600	250
DN 700, $P_{\text{раб}} = 5,5$ МПа	Ханты-Мансийский автономный округ		2400	1340	850	350

Расчеты минимальных безопасных расстояний с использованием методологии количественного анализа риска аварий показывают, что для современных продуктопроводов СУГ размеры аварийно-опасных зон для пребывания людей не превышают 1,4 км с интенсивностью смертельного травмирования $1 \cdot 10^{-8} \text{год}^{-1}$, тогда как детерминистские расчеты дают оценку размеров зон смертельного поражения до 2,4 км. Соотношения размеров зон, рассчитанных по разным подходам, зависят от вероятности возникновения аварии, рассматриваемой в качестве МГА.

Таким образом, из анализа нормативной базы, аварий и результатов расчета последствий аварийных выбросов опасных веществ и оценки риска аварий на МТ можно сделать следующие выводы:

1. Установлено влияние на размеры зон поражения и безопасных расстояний технологических параметров трубопровода, характеристик перекачиваемого продукта, особенностей окружающей местности, метеоусловий и иных факторов. Значимость указанных факторов зависит от вида МТ (МГ, МН или МТ СУГ), поэтому для решения практических задач необходимы анализ опасности конкретных участков МТ и обоснованный выбор критериев безопасности.

2. Применение методологии количественной оценки риска позволяет обосновывать минимальные безопасные расстояния, размер которых может быть существенно меньше нормативных [5] или определенных исходя из зон поражения при МГА.

3. Представленные результаты предлагается использовать при разработке нормативных документов по безопасности объектов трубопроводного транспорта, в том числе законопроекта — Технического регламента о безопасности магистральных трубопроводов для транспортировки жидких и газообразных углеводородов и Правил безопасности для магистральных трубопроводов.

Библиография

1. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта / М.В. Лисанов, А.В. Савина, Д.В. Дегтярев, Е.А. Самусева // Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 7. — С. 16–22.
2. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2010. — № 1. — Ст. 5.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» // Рос. газ. — № 4598. — 2008. — 27 фев.
4. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2008. — № 30. — Ст. 3579.
5. СНиП 2.05.06—85*. Магистральные трубопроводы. — М.: Госстрой, 1998.
6. М.В.Бесчастнов Оценка опасности перегретых жидкостей в трубопроводных системах большой протяженности // Безопасность труда в промышленности. — 1990. — № 12. — С. 19–24.
7. Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий / С.И. Сумской, К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин // Безопасность труда в промышленности. — 2008. — № 10. — С. 42–50.
8. Сравнение результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ по программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST / М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 2. — С. 56–60.
9. СТО Газпром 2-2.3-351—2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
10. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов / С.И. Сумской, А.В. Пчельников, Е.Л. Шанина и др. // Безопасность труда в промышленности. — 2007. — № 2. — С. 48–52.
11. Анализ риска магистральных нефтепроводов при обосновании проектных решений, компенсирующих отступления от действующих требований безопасности / М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.В. Савина и др. // Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 3. — С. 58–66.

12. РД-13.020.00-КТН-148—11. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах.
13. РД-03-26—2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ, утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007 г. № 859. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. - М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008. – 124 с.
14. Pasquill F. Atmospheric Diffusion. — New York: J. Wiley, 1974. - 429 p.

Строительный контроль и проведение в его рамках мониторинга технического состояния зданий и сооружений, как основа системы комплексной безопасности в строительстве

Construction control and carrying out in its framework of monitoring
of a technical condition of buildings and constructions, as a basis of system of
complex safety in construction

УДК 69 (094):006.354

Четверик Н.П.

Руководитель Совета Ассоциации Независимых Испытательных Строительных Лабораторий, генеральный директор ООО «Оценка соответствия», руководитель подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, член комитета по техническому регулированию и стандартизации НОП, член SOVAC при РСПП, член- корреспондент ВАН КБ

Chetverik N.P.

The head of the Association of Independent Building Test Laboratory, General Director of "conformity assessment", head Sub-Committee on Technical Regulation innovation in construction NOSTROY, member of the Committee for Technical Regulation and standardization NOP, SOVAC for Entrepreneurs, Corresponding Member of the Bureau VAN KB

Аннотация

Объект исследования – анализ процедур государственного строительного надзора и строительного контроля, как систем безопасности в строительстве.

В статье проанализированы задачи саморегулирования, функции государственного строительного надзора и организационное построение строительного контроля. Дана информация по нормативно-техническим документам в сфере строительного контроля, предложения по методическому обеспечению строительного контроля, необходимым для применения и исполнения требований Федерального закона от 30 декабря 2009г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Проанализированы процедуры строительного контроля. Дан перечень мер, направленных на повышение управляемости строительного комплекса и его эффективности.

Цель исследования – привлечение внимания к процедурам строительного контроля, координация и взаимодействие процедур строительного контроля при осуществлении настоящих мероприятий СРО при строительстве и реконструкции объектов капитального строительства в Российской Федерации.

Метод исследования – аналитический.

Abstract

Object of research – the analysis of procedures of the state construction supervision and construction control, as safety systems in construction.

In article problems of self-regulation, function of the state construction supervision and organizational creation of construction control are analysed. Information on normative and technical documents in the sphere of construction control, the offer on

methodical ensuring the construction control, necessary for application and execution of requirements of the Federal law from December 30 2009г is given. No. 384-FZ «Technical regulations about safety of buildings and constructions». Procedures of construction control are analysed. The list of the measures directed on increase of controllability of a construction complex and its efficiency is given.

Research objective – drawing attention to procedures of construction control, coordination and interaction of procedures of construction control at implementation of the real actions of SRO at construction and reconstruction of objects of capital construction in the Russian Federation.

Research method – analytical.

Ключевые слова

Государственный строительный надзор, строительный контроль, градостроительный кодекс российской федерации, технический регламент о безопасности зданий и сооружений, саморегулируемые организации, инспекционные организации, единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве, многоуровневая интегрированная система, лабораторный контроль, испытательные (строительные) лаборатории, геодезический контроль, производственный контроль, авторский надзор, контроль по вопросам инженерных изысканий, мониторинг технического состояния зданий и сооружений, отдельных конструкций и конструкционных систем, мониторинг окружающей застройки и экологической обстановки, пожарный аудит при строительстве, особо опасные, технически сложные и уникальные объекты капитального строительства.

Keywords

The state construction supervision, construction control, the town-planning code of the Russian Federation, technical regulations about safety of buildings and constructions, the self-regulating organizations, the inspection organizations, uniform system of an assessment of compliance in the field of industrial, ecological safety, safety in power and construction, the multilevel integrated system, laboratory control, test (construction) laboratories, geodetic control, production control, architectural supervision, control concerning engineering researches, monitoring of a technical condition of buildings and the constructions, separate designs and constructional systems, monitoring of surrounding building and an ecological situation, fire audit at the construction, especially dangerous, technically difficult and unique objects of capital construction.

Наше государство идет по пути разгосударствления своих функций и переводу их в формат саморегулирования.

По логико-вероятностному прогнозу, следующим шагом по пути разгосударствления в области строительства и реконструкции объектов капитального строительства будет являться замена процедур государственного строительного надзора, как государственной функции, процедурами независимого строительного контроля, как негосударственной функции, осуществляемой самими саморегулируемыми организациями (далее – СРО).

Готовы ли СРО осуществлять контроль за деятельностью своих партнеров в той мере и в той степени, как это происходит при реализации государственного строительного надзора?

Время покажет насколько эффективен институт саморегулирования при осуществлении строительного контроля.

Введение процедур саморегулирования в области инженерных изысканий, строительного и технологического проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта в Российской Федерации явилось объективной необходимостью в связи отсутствием важнейшего механизма в строительном процессе: ответственности строительных организаций за выполнение требований к видам работ, которые обеспечивают безопасность объектов капитального строительства [1] - [5].

Работа института саморегулирования при частичном сохранении государственного регулирования позволяет решать многие проблемы строительной отрасли на основе федерального законодательства о защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [6].

На практике реализуется эффективная модель сочетания государственного регулирования с процедурами саморегулирования. Настоящая модель позволяет сделать строительный рынок

прозрачным и понятным для потребителей, очистить его от ненадлежащих и недобросовестных участников.

Градостроительный кодекс Российской Федерации [1] положил начало процессу регулирования таких этапов жизненного цикла здания и сооружения, как инженерные изыскания, архитектурно-строительное проектирование, строительство, реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства. Принятие Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [8] позволило развить принципы регулирования [7] всех этапов жизненного цикла зданий и сооружений от процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации до консервации (утилизации, сноса).

Государственный строительный надзор осуществляется в Российской Федерации на основе Градостроительного кодекса Российской Федерации [1] и Постановления Правительства Российской Федерации от 1 февраля 2006 г. № 54 «О государственном строительном надзоре» [9]:

а) при строительстве объектов капитального строительства, если проектная документация на их строительство подлежит государственной экспертизе в соответствии со статьей 49 Градостроительного кодекса Российской Федерации либо является типовой проектной документацией или ее модификацией, на которую получено положительное заключение государственной экспертизы;

б) при реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, если проектная документация на осуществление реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства подлежит государственной экспертизе в соответствии со статьей 49 Градостроительного кодекса Российской Федерации.

Задачей государственного строительного надзора является предупреждение, выявление и пресечение допущенных застройщиком, заказчиком, а также лицом, осуществляющим строительство на основании договора с застройщиком или заказчиком (далее - подрядчик), нарушений законодательства о градостроительной деятельности, в том числе технических регламентов, и проектной документации.

Строительный контроль осуществляется на основании статьи 53 Градостроительного кодекса Российской Федерации [1] и Постановления Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 468 «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства» (далее – Порядок проведения строительного контроля) [10].

Строительному сообществу необходимо на самом деле грамотно и правильно реализовать на практике ст. 53 Градостроительного кодекса Российской Федерации, усилив настоящий нормативно-правовой акт подзаконными нормативно-техническими документами, позволяющими проводить его более конкретно.

Усиление строительного контроля параллельно с разгосударствлением функций по государственному строительному надзору позволит снять излишние административные барьеры.

Не дожидаясь федеральных норм, отвечая на запросы многочисленных организаций, работающих в настоящем направлении, ОАО «НТЦ «Безопасность в промышленности» в рамках Единой системы оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве подготовило и выпустило Положение по проведению строительного контроля при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства (СДОС-03-2009) и Методику проведения строительного контроля при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства (СДОС-04-2009), которые приняты решением Наблюдательного совета Единой системы оценки соответствия от 20 июля 2009 г. № 30 – БНС [12]; позже вышла вторая редакция вышеуказанных норм в сборнике «Строительный контроль» [13].

Сейчас готовится к печати Методическое пособие «Безопасность строительства и осуществление строительного контроля» [14].

Методическое пособие разработано для учебных заведений, саморегулируемых организаций в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства и реконструкции объектов капитального строительства, студентов, преподавателей, слушателей и экспертов по строительному контролю в порядке информации о реализации требований федерального законодательства в области строительного контроля.

В настоящем Методическом пособии в целях улучшения качества подготовки и повышения уровня знаний представлены вопросы (с ответами) по строительному контролю.

В Методическом пособии представлена последняя информация по вопросам строительного контроля, цели и задачи строительного контроля, содержатся требования к строительному контролю, дана исполнительная документация и порядок проведения строительного контроля.

Методическое пособие включает в себя технические правила, контролируемые параметры и нормируемые допуски, которые должны соблюдаться при выполнении работ.

Строительный контроль является многоуровневой интегрированной системой и включает в себя ряд мероприятий и процедур, обязательных для выполнения на всех этапах (стадиях) строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта капитального строительства.

Он состоит из строительного контроля застройщика (заказчика), лабораторного контроля, геодезического контроля, производственного контроля, авторского надзора, контроля по вопросам инженерных изысканий.

На особо опасных, технологически сложных и уникальных объектах капитального строительства строительный контроль, как правило, осуществляется инспекционными организациями, аккредитованными в Единой системе оценки соответствия.

Строительный контроль может по решению застройщика (заказчика) осуществляться посредством мониторинга технического состояния зданий и сооружений, отдельных конструкций и конструктивных систем, мониторинга окружающей застройки и экологической обстановки.

Представитель организации, осуществляющей строительный контроль, контролирует своевременное оформление разрешительной документации на строительство и подготовительные работы, осуществляет контроль выноса границ отвода земельного участка под строительство, участвует в проверке и приемке детальной разбивки осей зданий, инженерных сетей и коммуникаций, отслеживает поступление и контролирует качество проектно-сметной документации, постоянно проверяет ход и качество строительного-монтажных работ, качество строительных материалов, полуфабрикатов, деталей и конструкций, наличие паспортов, результатов лабораторных анализов и испытаний, требует от лиц осуществляющих строительство своевременного и правильного ведения и оформления производственно-технической и исполнительной документации, ведения общего и специальных журналов производства работ, рассматривает текущие вопросы по организации строительного контроля и подготавливает документацию к сдаче объекта в эксплуатацию.

Лабораторный контроль выполняют испытательные (строительные) лаборатории лиц осуществляющих строительство, либо испытательные (строительные) лаборатории подрядных организаций.

Геодезический контроль осуществляется посредством проведения геодезических работ, в том числе инструментального контроля в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта капитального строительства.

Производственный контроль включает входной контроль проектно-сметной документации, конструкций, изделий, материалов и оборудования, операционный контроль отдельных строительных процессов или производственных операций, приемочный контроль строительного-монтажных работ. При входном контроле проектно-сметной документации производится проверка ее комплектности и достаточности содержащейся в ней технической информации для производства работ.

Строительные материалы, конструкции, изделия и оборудование, поступающие на объект капитального строительства, должны проходить входной контроль на соответствие требованиям

проектной документации, стандартам, техническим условиям, паспортам, сертификатам, подтверждающим качество и изготовления, а также на соблюдение правил разгрузки и хранения. При необходимости материалы и изделия проверяют в испытательной лаборатории лиц осуществляющих строительство, либо в испытательной лаборатории специализированных независимых подрядных организаций.

Операционный контроль должен осуществляться в ходе выполнения строительных процессов или производственных операций и обеспечивать своевременное выявление дефектов и причин их возникновения и принятие мер по их устранению и предупреждению. Контроль проводится в соответствии со схемами операционного контроля на выполнение соответствующего вида работ.

Приемочный контроль осуществляется при завершении скрытых и других видов работ, готовности ответственных конструкций в процессе строительства и подготовке объекта капитального строительства к сдаче в эксплуатацию. Приемочный контроль проводит лицо, осуществляющее строительство, застройщик (заказчик), а также привлеченное по инициативе застройщика (заказчика) лицо, осуществляющее разработку проектной документации.

При осуществлении авторского надзора за строительством объекта регулярно ведется журнал авторского надзора за строительством, который составляется проектировщиком и передается застройщику (заказчику). Основные обязанности лица, осуществляющего авторский надзор, заключаются в проведении выборочной проверки соответствия выполняемых работ рабочей документации и требованиям технических регламентов, выборочного контроля качества и технологии производства работ, связанных с обеспечением надежности, прочности, устойчивости и долговечности конструкций, монтажа технологического и инженерного оборудования, своевременном решении вопросов, связанных с необходимостью внесения изменений в рабочую документацию, информировании заказчика (застройщика) о несвоевременном и некачественном выполнении работ, осуществлении указаний специалистов авторского надзора, для принятия оперативных мер по устранению выявленных отступлений от рабочей документации и нарушений требований технических регламентов.

Мониторинг технического состояния зданий и сооружений, отдельных конструкций и конструктивных систем проводится в соответствии с нормативно-техническими документами и представляет собой систему наблюдения и контроля, проводится по определенной программе для своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформационного состояния конструкций и грунтов основания, которые могут повлечь переход объекта строительства, реконструкции, капитального ремонта в аварийное состояние.

Система мониторинга технического состояния разворачивается на объекте капитального строительства для осуществления сбора информации о напряженно-деформированном состоянии строительных конструкций во временном диспетчерском пункте и продолжает работать на этапе эксплуатации для осуществления сбора информации о напряженно-деформированном состоянии строительных конструкций в диспетчерском пункте объекта с возможностью передачи информации в соответствующие службы.

Ответственность организаций, осуществляющих строительный контроль, должна быть застрахована на основе независимой оценки рисков. В целях обеспечения оптимального взаимодействия лиц, осуществляющих строительство, с органами государственного строительного надзора целесообразно в договорах между застройщиками и организациями, осуществляющими строительный контроль, включать обязанность последних представлять интересы застройщиков перед органами государственного строительного надзора, а также предоставлять всю необходимую информацию о ходе проведения строительного контроля органам государственного строительного надзора.

В рамках СРО в ближайшее время необходимо реализовать ряд мер, направленных на повышение управляемости строительного комплекса и его эффективности в целом.

Во-первых, в целях улучшения контроля качества строительства и строительных материалов необходимо предусмотреть создание системы независимого строительного контроля, проводимого структурами СРО на базе мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

В рамках строительного контроля независимые специализированные организации, имеющие допуск на рынок от СРО, должны взять на себя проведение всего комплекса мероприятий по строительному контролю.

Используя успешный опыт развитых стран (например, в Германии основной организацией, работающей в данной сфере с 1872 г. является TÜV Rheinland Group) необходимо создать независимую систему строительного контроля, существующую на основе принципов сохранения положительной репутации и страхования ответственности.

Внедрение механизмов независимого строительного контроля не потребует дополнительного финансирования строительства. Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 №87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию» в сводный сметный расчет стоимости строительства должен включаться раздел «Строительный контроль». Поскольку договоры на осуществление независимого строительного контроля будут заключаться между заказчиками-застройщиками и организациями строительного контроля СРО напрямую, в смету подрядчика такие расходы включаться не будут.

Таким образом, без увеличения затрат на строительство, реконструкцию и капитальный ремонт значительно возрастет уровень безопасности и качества строительства.

Задача государства - отрегулировать процесс взаимодействия всех участников рынка услуг в сфере строительного производства, установив при этом баланс интересов потребителей и исполнителей данного вила услуг. Необходимы соответствующие нормативно-правовые документы, а также действенный механизм контроля за их соблюдением, необходимо повысить ответственность субъектов саморегулирования, усилить их заинтересованность в конечных результатах своей деятельности, создать механизмы выявления недобросовестных, неквалифицированных строительных компаний и удаления их с рынка строительных услуг.

И в этой части необходим подзаконный акт по строительному контролю – Свод Правил «Строительный Контроль» (далее – СП «СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ»).

Национальному объединению строителей необходимо в максимально короткие сроки разработать и принять стандарт «СТО НОСТРОЙ «Строительный контроль» (далее – СТО НОСТРОЙ «СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ»).

Мы должны подготовить его не на основе видов работ согласно Приказу Минрегиона [11], а на основе многоуровневой интегрированной процедуры, включающей в себя: строительный контроль застройщика (заказчика), либо строительный контроль привлекаемый застройщиком или заказчиком на основании договора юридического лица или индивидуального предпринимателя на основе договора; лабораторный контроль, геодезический контроль, производственный контроль, авторский надзор в составе строительного контроля, контроль по вопросам инженерных изысканий. И все эти функции должны быть прописаны очень емко и актуально. В рамках таких документов необходимо прописать входной и операционный контроль строительных материалов, изделий и конструкций; мониторинг технического состояния зданий и сооружений, строительную-техническую экспертизу и строительные риски; применение современных информационных технологий в строительном контроле, как основные разделы настоящего документа. Одним из разделов, конечно же, должен быть порядок проведения строительного контроля при осуществлении конкретных видов работ, в том числе на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах.

Всем заинтересованным коллегам рекомендую ознакомиться с проектом Пособия [14], которое может послужить теорией для разработки СП и СТО НОСТРОЙ «СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ».

Строительный контроль и проведение в его рамках мониторинга технического состояния зданий и сооружений, должен стать основой системы комплексной безопасности в строительстве.

Библиография

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 года №190-ФЗ.
2. Федеральный закон от 1 декабря 2007 года №315-ФЗ "О саморегулируемых организациях".
3. Федеральный закон от 12 января 1996 г. N 7-ФЗ "О некоммерческих организациях".
4. Федеральный закон от №148-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. Федеральный закон от 27 июля 2010 года № 240-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
6. Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. N 294-ФЗ "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля"
7. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании».
8. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 февраля 2006 г. №54 «О государственном строительном надзоре».
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. №468 «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства».
11. Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. №624 «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства».
12. Строительный контроль. Сборник документов, кол. авт.: В.С. Котельников, Н.П.Четверик, Р.А. Андриевский, - М: Открытое акционерное общество "Научно-технический центр "Промышленная безопасность", 2009 - 228 с.
13. Строительный контроль. Сборник документов, кол. авт.: В.С. Котельников, М.А. Луняков, Н.П.Четверик, Р.А. Андриевский, А.А.Ананьев, Д.О. Корольков - М: Открытое акционерное общество "Научно-технический центр "Промышленная безопасность", 2010 - 235 с.
14. Проект Методического пособия «Безопасность строительства и осуществление строительного контроля», кол. авт.- М: Открытое акционерное общество "Научно-технический центр "Промышленная безопасность", 2012.



Безопасность инновационной деятельности

Что такое инновационные проекты в строительстве, наилучшие доступные строительные технологии и наилучшие доступные строительные материалы (ИПС, НДТС и НДСМ)? What is the innovative projects in a construction, the best available construction technologies and the best available construction materials (IPC, BACT,

УДК 691

Четверик Н.П.

Руководитель Совета Ассоциации Независимых Испытательных Строительных Лабораторий, генеральный директор ООО «Оценка соответствия», руководитель подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, член комитета по техническому регулированию и стандартизации НОП, член SOVAC при РСПП, член- корреспондент ВАН КБ.

Chetverik N.P.

The head of the Association of Independent Building Test Laboratory, General Director of "conformity assessment", head Sub-Committee on Technical Regulation innovation in construction NOSTROY, member of the Committee for Technical Regulation and standardization NOP, SOVAC for Entrepreneurs, Corresponding Member of the Bureau VAN KB.

Аннотация

Объект исследования – анализ определений и понятий в области наилучших доступных строительных технологий (НДСТ) и наилучших доступных строительных материалов (НДСМ).

В статье проанализирована задача создания актуальной определенно-понятийной базы в области градостроительной деятельности, в частности, характеристика определений: наилучших доступных строительных технологий и наилучших доступных строительных материалов и их критериев.

Автором предложен инициативный подход к настоящей теме.

Цель исследования – привлечение внимание всего строительного сообщества к наилучшим доступным строительным технологиям и наилучшим доступным строительным материалам.

Метод исследования – аналитический.

Abstract

Object of research – the analysis of definitions and concepts of area of the best available construction technologies (BACT) and the best available construction materials (BACM).

In article the problem of creation of actual certain and conceptual base in the field of town-planning activity, in particular, the characteristic of definitions is analysed: the best available construction technologies and the best available construction materials and their criteria.

The author offered an initiative approach to the real subject.

Research objective – attraction attention of all construction community to the best available construction technologies and the best available construction materials.

Research method – analytical.

Ключевые слова

Наилучшие доступные строительные технологии (НДСТ), наилучшие доступные строительные материалы (НДСМ).

Keywords

The best available construction technologies (BACT), the best available construction materials (BACM).

Начав читать эту достаточно резонансную статью, у читателя может возникнуть резонный вопрос: «Что за тарабщина?».

На самом деле, никакой мистики здесь нет.

Абсолютно нормальное отношение к инновационным проектам в строительстве (далее – ИПС), наилучшим доступным строительным технологиям (далее – НДСТ) и наилучшим доступным строительным материалам (далее – НДСМ) означает ровно одно: наконец-то, дан ход очень важному и ответственнейшему процессу — регистрации ИПС, НДСТ и НДСМ.

Давайте для начала выстроим определенно-понятийную базу ИПС, НДСТ и НДСМ.

Определение и критерии ИПС даны в самодостаточном документе, разработанным Комитетом инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ - Методических рекомендациях по оценке эффективности инноваций в строительстве [1].

Что есть НДСТ?

НДСТ (наилучшие доступные строительные технологии) - это совокупность технологических процессов и методов выполнения строительных процессов, обеспечивающих обработку материалов и конструкций с целью получения продукции заданного качества, имеющая промышленное применение с учетом экономической, социальной, экологической и ресурсосберегающей составляющей. По крайней мере, мы так понимаем. Как понимает настоящее определение строительное сообщество, нам всем предстоит узнать.

Критериями НДСТ являются;

- критерии экологичности и энергоэффективности;
- рыночные критерии;
- производственные критерии;
- научно-технические критерии;
- финансово-экономические критерии.

К числу критериев в области экологичности и энергоэффективности, в частности, относятся:

- использование малоотходной технологии;
- использование веществ в наименьшей степени опасных для человека и окружающей среды;
- возможность регенерации и рециклинга веществ, используемых в процессе;
- предыдущее использование в промышленном составе сопоставимых процессов, установок, методов управления;
- природа, характер воздействия и удельные значения масс выбросов и сбросов, связанных с процессом;
- срок ввода в эксплуатацию для новых существующих установок;
- сроки внедрения НДСТ;
- потребление и характер сырья (включая воду), используемую в процессе;
- энергоэффективность;
- отсутствие общего негативного воздействия выбросов-сбросов на окружающую среду и связанные с этим риски;

- отсутствие вероятности аварий и связанные с этим риски.

К рыночным критериям относятся;

- соответствие НДСТ потребностям рынка;
- коммерческий успех;
- максимальный объем продаж;
- конкурентоспособность;
- максимальная согласованность с существующими каналами сбыта.

Производственные критерии:

технологические преимущества;

- наличие технологического оборудования для реализации НДСТ;
- соответствие НДСТ имеющимся производственным мощностям (поддержание максимально высокого уровня использования имеющихся в наличии производственных мощностей);

-наличие необходимого производственного персонала (по численности и квалификации);
 -максимально низкая величина издержек производства, в т.ч. по сравнению с конкурентами;
 К научно-техническим критериям относятся:

- повышение уровня научных знаний;
- технический успех;
- патентная чистота;
- уникальность продукции (отсутствие аналогов);
- наличие научно-технических ресурсов, необходимых для осуществления проекта.

Финансово-экономические критерии:

- значительные успехи в ресурсоэнергосбережении при реализации НДСТ (способы наилучшего использования движущей силы, способы наиболее полной переработки сырья, способы рационального использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), способы наилучшего функционально-структурного использования аппаратов и машин, способы обеспечения и повышения надежного производства, способ оптимальной компоновки производства и предприятий, методы логистики для уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат);
- экономия сырьевых материалов, воды, электроэнергии, трудовых ресурсов и др. показатели, которыми технология может оказать воздействие на экономические показатели процесса;
- существенная экономия средств за счет снижения энергозатрат;
- максимальный годовой размер прибыли;
- максимальная норма чистой прибыли;
- соответствие НДСТ критериям экономической эффективности капиталовложений, принятым в организации;
- максимально короткое время окупаемости затрат на НДСТ;
- отсутствие необходимости привлечения заемного капитала (кредитов) для финансирования НДСТ и его доли в инвестициях;
- отсутствие (минимальный характер) финансового риска, связанного с реализацией НДСТ;
- стабильность поступления доходов от НДСТ;
- максимально короткий период времени, через который начался выпуск продукции (услуг) при реализации НДСТ, быстрое возмещение капитальных затрат на нее;
- использования налогового законодательства (налоговых льгот) при реализации НДСТ;
- фондоотдача, т.е. отношение среднего годового валового дохода, полученного от НДСТ, к капитальным затратам на НДСТ;
- отсутствие убытков при реализации НДСТ.

Как я понимаю НДСМ?

НДСМ (наилучшие доступные строительные материалы) - это материалы для возведения зданий и сооружений с наилучшим качеством, имеющие промышленное применение с учетом экономической, социальной, экологической и ресурсосберегающей составляющей.

После анализа НДСМ отобраны критерии, характеризующие технико-экономические, экономические, технические и другие показатели.

В число критериев НДСМ вошли:

- критерии экологичности и энергоэффективности;
- рыночные критерии;
- производственные и эксплуатационные критерии;
- научно-технические критерии;
- финансово-экономические критерии.

К критериям экологичности и энергоэффективности НДСМ относятся:

- иметь минимальную естественную радиоактивность;
- использование малоотходной технологии;
- использование веществ в наименьшей степени опасных для человека и окружающей среды;
- возможность регенерации и рециклинга веществ, используемых в материалах;

- природа, характер воздействия и удельные значения масс выбросов и сбросов, связанных с материалами;

- сроки внедрения НДСМ;

- энергоэффективность;

- отсутствие общего негативного воздействия выбросов-сбросов на окружающую среду и связанные с этим риски;

- отсутствие вероятности аварий и связанные с этим риски.

Рыночные критерии:

- соответствие НДСМ потребностям рынка;

- коммерческий успех;

- максимальный объём продаж;

- конкурентоспособность;

- максимальная согласованность с существующими каналами сбыта.

К производственным и эксплуатационным критериям относятся:

- качество НДСМ;

- технологические преимущества НДСМ (надёжность, прочность, жёсткость (или упругость), пластичность, твердость, хладноломкость, вязкость, трещиностойкость, устойчивость, выносливость, герметичность, износостойкость, огнестойкость, долговечность, плотность (или пористость), теплоемкость, теплопроводность (или тепловое расширение), электропроводность (или электросопротивление), магнитные свойства, коррозионная стойкость, жаростойкость, теплоизоляционные свойства, свойства биологической защиты и др.;

- соответствие НДСМ имеющимся производственным мощностям (поддержание максимально высокого уровня использования имеющихся в наличии производственных мощностей);

- наличие необходимого производственного персонала (по численности и квалификации);

- максимально низкая величина издержек производства, в т.ч. по сравнению с конкурентами.

Научно-технические критерии:

- повышение уровня научных знаний;

- технический успех;

- патентная чистота;

- уникальность НДСМ (отсутствие аналогов);

- наличие научно-технических ресурсов, необходимых для производства и реализации НДСМ.

К финансово-экономическим критериям относятся:

- себестоимость материала;

- производительность материала;

- доля материальных затрат при производстве НДСМ;

- прибыль от реализации НДСМ;

- материалоотдача;

- срок службы материала;

- трудозатраты;

- себестоимость материала;

- выручка от реализации НДСМ;

- ресурсосбережение;

- максимальный годовой размер прибыли;

- максимальная норма чистой прибыли;

- соответствие НДСМ критериям экономической эффективности капиталовложений, принятым в организации;

- максимально короткое время окупаемости затрат на НДСМ;

- отсутствие необходимости привлечения заемного капитала (кредитов) для финансирования производства НДСМ и его доли в инвестициях;

- отсутствие (минимальный характер) финансового риска, связанного с реализацией НДСМ;

- стабильность поступления доходов от НДСМ;
- отсутствие убытков при реализации НДСМ.

Для характеристики потребительских предпочтений на рынке строительных материалов, приведем результаты исследования, проведенного группой «ИНЭК», направленного на выявление значимости различных параметров при выборе потребителями строительных материалов (см. таблицу).

Таблица

Рейтинг критериев выбора потребителями строительных материалов, % (по материалам исследований группы «ИНЭК»)

№ п/п	КРИТЕРИИ	%
1.	Требуемое соотношение «цена-качество»	97,3
2.	Проверенное ранее качество	92,6
3.	Экологичность	80,4
4.	Дешевле аналогов	75,7
5.	Давно и успешно продаваемый на рынке товар	66,9
6.	Отечественный товар	56,1
7.	Рекомендации коллег, знакомых	55,4
8.	Требуемая упаковка, фасовка	44,6
9.	Официальные рекомендации (Министерства, ведомства, комиссии и др.)	35,8
10	Новинка на рынке	27,7
11	Импортный материал	11,5

Примечание.

По итогам исследования обнаружилось, что наиболее значимым критерием, определяющим выбор потребителями строительных материалов при покупке, выступает оптимальное соотношение цены и качества товара (97% респондентов выделили этот фактор как «важный» или «очень важный»). Следующим по значимости критерием потребительского выбора выступает «проверенное ранее качество товара» (его выделили 92,6% респондентов). Факторы экологичности строительных материалов, а также более приемлемой цены по отношению к аналогам в рейтинге критериев потребительского выбора занимают соответственно третью и четвертую позиции (80,4 и 75,7% соответственно). В наименьшей мере влияют на выбор потребителей следующие факторы: «новинка на рынке» (27,7%) и «импортный товар» (11,5%). То есть, российские потребители с некоторым недоверием относятся к новинкам на рынке строительных материалов, а также склонны отдавать предпочтение отечественной продукции перед импортной.

Автор предлагает уважаемым коллегам из профильных Комитетов НОСТРОЙ поучаствовать в дискуссионном процессе с целью разработки определений и критериев в области наилучшим доступных строительных технологий и наилучших доступных строительных материалов.

Мы должны с Вами, уважаемые коллеги, создать определенно-понятийную базу в настоящей области и определить критерии озвученных определений.

Комитетом инновационных технологий в строительстве подготовлен проект Методических рекомендаций по организации и ведению реестра базы данных инновационных проектов в строительстве, наилучших доступных строительных технологий и строительных материалов НОСТРОЙ.

Предлагаю всем коллегам из Комитетов НОСТРОЙ, которым интересен сам факт таких разработок, присоединиться к участию в их обсуждении.

На выходе мы должны реализовать мнение саморегулируемых организаций о создании такого Реестра.

Библиография

- 1 Методические рекомендации по оценке эффективности инноваций в строительстве, – М: кол. авт. под общ. ред. Н.П.Четверика, Комитет инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, 2011, - 74 с.
- 2 Проект Методических рекомендаций по организации и ведению реестра базы данных инновационных проектов в строительстве, наилучших доступных строительных технологий и строительных материалов, – М: кол. авт. под общ. ред. Н.П.Четверика, Комитет инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, 2012, - 51 с.
- 3 Материалы исследований группы «ИНЭК» (<http://www.marketcenter.ru/content/doc-2-7378.html>).

Экспресс-метод балльной оценки инновационного проекта Ekspress-metod ball assessment of the innovative project

УДК 658.562

Четверик Н.П.

Руководитель Совета Ассоциации Независимых Испытательных Строительных Лабораторий, генеральный директор ООО «Оценка соответствия», руководитель подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, член комитета по техническому регулированию и стандартизации НОП, член SOVAC при РСПП, член- корреспондент ВАН КБ

Chetverik N.P.

The head of the Association of Independent Building Test Laboratory, General Director of "conformity assessment", head Sub-Committee on Technical Regulation innovation in construction NOSTROY, member of the Committee for Technical Regulation and standardization NOP, SOVAC for Entrepreneurs, Corresponding Member of the Bureau VAN KB

Аннотация

В статье дается информация об экспресс-методе балльной оценки инновационного продукта на основе критериев, разработанных автором. Суть экспертной оценки условий реализации проектов сводится к выбору и ранжированию (определению приоритетности, значимости) показателей, их удельного веса в рамках оцениваемого раздела. Ранжирование по критерию значимости (присвоение определенного веса) ведется для каждого из критериев в рамках раздела, сумма всех рангов(весов) ровняется единице.

Цель настоящей статьи – привлечь внимание строительного сообщества к оценке инновационных технологий в строительстве Комитетом инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ на основе разработанных Методических рекомендаций по оценке эффективности инноваций в строительстве.

Abstract

In article information on an express method of a ball assessment of an innovative product on the basis of the criteria developed by the author is given. The essence of an expert assessment of conditions of implementation of projects is reduced to a choice and ranging (to determination of priority, the importance) indicators, their specific weight within the estimated section. Ranging by criterion of the importance (assignment of a certain weight) is conducted for each of criteria within the section, the sum of all ranks (scales) is leveled to unit.

The purpose of the present article – to draw attention of construction community to an assessment of innovative technologies in construction by Committee of innovative technologies in construction НОСТРОЙ on the basis of the developed Methodical recommendations about an assessment of efficiency of innovations in construction.

Ключевые слова

Инновационные технологии в строительстве, экспресс-метод бальной оценки, оценка эффективности инноваций в строительстве.

Keywords

Innovative technologies in construction, an express method of a ball assessment, an assessment of efficiency of innovations in construction.

Суть экспертной оценки условий реализации проектов сводится к выбору и ранжированию (определению приоритетности, значимости) показателей, их удельного веса в рамках оцениваемого раздела. Ранжирование по критерию значимости (присвоение определенного веса) ведется для каждого из критериев в рамках раздела, сумма всех рангов (весов) равняется единице.

Далее по шкале от 0 до 100 баллов оценивается каждый показатель раздела. Интегральная (сводная оценка) получается путем перемножения показателя веса критерия на оценку по критерию и последующего сложения получившихся результатов.

$$\text{Итого по разделу} = \sum (\text{Вес критерия} \times \text{Оценка}) \quad (1)$$

Критерии степени инновационности товаров, работ, услуг в строительной отрасли:

- предпосылки реализации инновационного проекта;
- степень разработанности/ стадия развития инновационного проек
- научно-техническая новизна оцениваемого инновационного проекта;
- оценка коммерческой привлекательности проекта;
- оценка рисков инновационного проекта;
- оценка организации управления инновационным проектом;
- обеспечение качества и соответствия инновационного проекта нормативам Российской Федерации;
- интегральная оценка Инновационного проекта.

Все перечисленные критерии представлены в табличном виде (см. табл. 1 - 8).

Таблица 1
Предпосылки реализации инновационного проекта

№	Наименование критерия	Описание	Вес критерия	Оценка
1	Причины инициации проекта		0,3	
2	Корректность целей и задач проекта, соответствие их SMART-критериям	Грамотность в постановке целей проекта, удовлетворение критериям: Конкретность(S), Измеримость(M), Достижимость(A), Реалистичность(R), Определенность по времени(T)	0,7	
	Итого по разделу		1	

Оцените по шкале от 0 до 100 степень проработанности каждого из критериев, где 0 – наименьшая степень проработанности, а 100 – наибольшая.

Таблица 2
Степень разработанности/ стадия развития инновационного проекта⁸

№	Наименование этапа/фазы	Вес	Оценка
1	Завершение	0,5	
2	Реализация	0,25	
3	Разработка	0,15	
4	Концепция	0,1	
	Итого по разделу	1	

Определите фазу, на которой находится рассматриваемый проект, поставив оценку 100 в соответствующей графе, в остальных графах поставьте 0.

Таблица 3
Научно-техническая новизна оцениваемого инновационного проекта

№	Наименование критерия	Вес критерия	Оценка
1	Соответствие продукта ключевым направлениям инноваций в строительной отрасли*	0,3	
2	Новизна предлагаемого продукта/анализ технологии	0,2	
3	Возможность будущих разработок и дальнейшее применение продукта	0,15	
4	Наличие правовой защиты проекта(соответствие текущему и перспективному законодательству, патент, лицензия и т.д.)	0,1	
5	Простота внедрения инновационной разработки	0,1	
6	Наличие научно-технических ресурсов	0,05	
7	Уровень безопасности производства	0,05	
8	Доступность и наличие необходимо оборудования	0,05	
	Итого по разделу	1	

Оцените по шкале от 0 до 100 степень соответствия каждого из критериев, где 0 – наименьшая степень соответствия, а 100 – наибольшая.

Таблица 4
Оценка коммерческой привлекательности проекта

№	Наименование критерия	Вес критерия	Оценка
1	Объем и характер рынка продукта	0,4	
2	Конкурентность рынка	0,2	
3	Темп роста рынка в целом	0,2	
4	Наличие потенциальных каналов распространения/сбыта	0,15	
5	Величина потенциального объема продаж	0,05	
	Итого по разделу	1	

⁸ Балл 100 присваивается фазе на которой находится проект, остальным фазам присваивается балл 0

Оцените по шкале от 0 до 100 каждый из показателей, где 0 – наименьшая оценка, а 100 – наибольшая.

Таблица 5
Оценка рисков инновационного проекта

№	Наименование	Вес критерия	Оценка
3	Качество и полнота оценки коммерческих рисков	0,4	
2	Качество и полнота оценки инвестиционных рисков	0,3	
1	Качество и полнота оценки производственных рисков	0,2	
4	Качество и полнота оценки экологических рисков	0,1	
	Итого по разделу	1	

Оцените по шкале от 0 до 100 степень проработанности каждого из критериев, где 0 – наименьшая степень проработанности, а 100 – наибольшая.

Таблица 6
Оценка организации управления инновационным проектом

№	Наименование	Вес критерия	Оценка
1	Наличие опыта в выводе новых продуктов на рынок/реализации подобных проектов	0,5	
2	Наличие кадрового потенциала для реализации проекта	0,2	
3	Наличие сертифицированных специалистов в области управления проектами	0,15	
5	Наличие информационной системы управления проектами в организации	0,1	
4	Наличие Системы менеджмента качества в организации	0,05	
	Итого по разделу	1	

Оцените по шкале от 0 до 100 каждый из показателей, где 0 – наименьшая оценка, а 100 – наибольшая.

Таблица 7

Обеспечение качества и соответствия инновационного проекта нормативам Российской Федерации⁹

№	Наименование критерия	Вес	Оценка
1	Наличия сертификата соответствия (ГОСТ Р)	0,3	
2	Наличие сертификата пожарной безопасности	0,3	
3	Наличие санитарно-эпидемиологического сертификата	0,3	

⁹ Балл 100 присваивается при наличии документа, в случае отсутствия присваивается балл -0

4	Наличие иных сертификатов	0,1	
	Итого по разделу	1	

Оцените используя шкалу от 0 до 100 наличие документов обеспечивающих качество и соответствие нормативам РФ, где 0 – отсутствие документа заявленного в критерии, а 100 – его наличие.

Таблица 8
Интегральная оценка инновационного проекта

№	Наименование раздела	Вес раздела	Оценка по разделу
1	Предпосылки реализации проекта	0,1	
2	Степень разработанности стадия развития инновационного проекта	0,2	
3	Научно-техническая новизна оцениваемого продукта	0,2	
4	Оценка коммерческой привлекательности продукта	0,2	
5	Оценка рисков проекта	0,1	
6	Оценка организации управления проектом	0,1	
7	Обеспечение качества и соответствие нормативам РФ	0,1	
	Итоговая оценка	1	

При интегральной оценке инновационного проекта каждый из 7-ми разделов ранжируется по важности (присваивается определенный вес), результаты оценок по каждому из разделов заносятся в итоговую таблицу. Общая итоговая оценка по инновационному проекту (интегральная оценка инновационного проекта) получается в результате умножения итоговой оценки по разделу на вес раздела и последующего суммирования результатов.

$$\text{Интегральная оценка инновационного проекта} = \sum (\text{Вес раздела} \times \text{Оценка по разделу}) \quad (2)$$

*Направления инноваций в строительной отрасли:

- совершенствование процедур выбора подрядчиков;
- уменьшение стоимости производства работ;
- увеличение скорости выполнения работ;
- повышение качества выполнения работ, удовлетворенности потребителей;
- развитие информационных и телекоммуникационных технологий в строительстве;
- уменьшение вреда наносимого окружающей среде(зеленое строительство);
- совершенствование условий труда и качества подготовки специалистов;
- повышение уровня безопасности строительства.

Таким образом, с помощью экспресс-метода расчета бальной оценки, значительно упрощается сам такой расчет.

Библиография

1 Методические рекомендации по оценке эффективности инноваций в строительстве, – М: кол. авт. под общ. ред. Н.П.Четверика, Комитет инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, 2011, - 74 с.

2 Проект Методических рекомендаций по организации и ведению реестра базы данных инновационных проектов в строительстве, наилучших доступных строительных технологий и строительных материалов, – М: кол. авт. под общ. ред. Н.П.Четверика, Комитет инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, 2012, - 51 с.



Социальная безопасность

Педагогика и безопасность жизнедеятельности: SOS!*

Pedagogics and health and safety: SOS!

УДК 37.014

Сапронов В.В.**

Кандидат технических наук, профессор Московского государственного университета культуры и искусств, директор Института безопасности жизнедеятельности (сфера образования) Фонда национальной и международной безопасности, Лауреат Государственной Премии СССР в области науки и техники, член редакционной коллегии журнала «ОБЖ. Основы безопасности жизни».

Россия, город Москва

Sapronov V. V.

Candidate of Technical Sciences, the professor of the Moscow state university of culture and arts, the director of Institute of health and safety (education) of Fund of the national and international security, the Winner of the State Award USSR in the field of a science and equipment, the member of an editorial board of the magazine «Life safety . Bases of safety of life».

Russia, Moscow.

Аннотация

Стандарты образования после «модернизации» не соответствуют новому времени с глобальными угрозами от жизнедеятельности. Предлагается инициативно вести педагогическую работу по формированию современной культуры безопасности.

Summary

Education standards after "modernization" don't correspond to new time with global threats from activity. It is offered to conduct initiatively pedagogical work on formation of modern culture of safety.

Ключевые слова

Педагогика; модернизация образования; транснациональные операторы образовательных услуг; защита; преобразование окружающей среды; безопасность жизнедеятельности; сокращение численности населения; современная культура безопасности; преобразование мировоззрения; национальная идея; SOS.

Keywords

Pedagogics; education modernization; transnational operators of educational services; protection; environment transformation; health and safety; population reduction; modern culture of safety; outlook transformation; national idea; SOS.

Тему конференции со словами *педагогика, безопасность, наука*, конференции, предполагающей обсуждение связанных с этими словами и понятиями проблем и поиск оптимальных путей их решения, можно было бы назвать очень актуальной, если бы не было желания кричать: «КАРАУЛ!» В сложившейся на сегодня ситуации спокойные, академически аргументированные, взвешенные пассажи будут довольно наивными.

* Статья была подготовлена для Всероссийской научной конференции с международным участием, которая прошла в Екатеринбурге 12 декабря 2011 года.

** Сапронов Владимир Владимирович (1934 — 25 июля 2012). Публикуемая статья является одной из последних его научных работ.

Дело в том, что основные проблемы уже решены без всяких обсуждений. Контуры и содержание педагогической работы в области безопасности, как, впрочем, и в других областях, к настоящему моменту сведены в стандарты в результате модернизации образования Федеральным российским ведомством под руководством транснациональных операторов образовательных услуг.

Кто руководил решением наших проблем, кто такие эти операторы? Как оказалось, их статус определён меморандумом президента США Б.Клинтон в 2000 году [6]. Это «неправительственные организации с мощной государственной поддержкой» (правительства США, естественно). Транснациональные операторы, по их данным, уже в начале 2000-тысячных годов контролировали более 85% мирового «рынка образовательных услуг». Т.е. стратегия и детали модернизации образования России, несмотря на непрерывные протесты отечественных педагогов, заданы международными организациями под эгидой США (как им это удаётся – отдельная тема). А они, как выразилась государственный секретарь США Мадлен Олбрайт, реализуют идею «грибы лучше растут в темноте» (какие и чьи грибы, в чьей темноте – думается, вопросов не возникает).

Результаты деятельности, руководимой могущественными операторами, наглядно иллюстрируются экспериментом, проведенным Институтом психологии РАН [4]. В этом эксперименте исследовались изменения ценностной ориентации школьников в зависимости от изучаемых школьных предметов. При обычной, «старой» программе обучения у учеников за время учёбы во 2-ом классе исходная ценностная шкала «1) интеллектуальные знания; 2) нравственные основы; 3) волевые качества и т.д.» менялась на «1) нравственные основы; 2) интеллектуальные знания; 3) волевые качества и т.д.». Т.е. менялись позициями только первые два пункта. И такая шкала ценностей сохранялась на всю оставшуюся жизнь (основные черты личности, что было неоднократно установлено в работах Академии образования, формируются уже к 8-9 годам!). При проведении описываемого эксперимента исследователи, следуя идеям модернизации образования, ввели в программу обучения учеников 2-го класса предмет «7 шагов в мир экономики». И последующее тестирование показало удивительный результат этого нововведения. Шкала ценностей учеников неузнаваемо изменилась и приобрела такой вид: «1) волевые качества; 2) положение в группе (стать лучше всех); 3) материальное положение в группе (иметь лучшие мобильник, «тачку» родителей и т.п.); 4) социальная активность (борьба за лидерство в группе)». Нравственные и интеллектуальные ценности ушли на дальний план; ими стало возможно вообще пренебрегать во имя ценностей доминирующих. Т.е. было установлено прямо-таки потрясающее изменение фундаментальных характеристик личности после изменения программы образования. Наглядно были выявлены цели модернизации: воспитывать в сознании молодых людей характерные для западной цивилизации стремление к господству, индивидуализм, акцент на потребление и т.п. («Народ надо менять!»). Но вот какой вопрос при этом возникает: а сохранит ли наш изменённый таким образом народ свою жизнеспособность, которая сотни лет в тяжелейших природных и исторических условиях поддерживалась его коллективистскими качествами, его соборностью? Или реальные цели модернизации образования вписываются в задачу сокращения численности нашего народа до 15-30 млн. человек, обслуживающих «трубу», задачу-прогноз, предрекавший другой западной деятельницей – Маргарет Тэтчер в бытность британским премьер-министром?

Теперь ближе к теме конференции. Послушными исполнителями заданий транснациональных операторов разработаны и внедряются в числе других стандарты образования в области безопасности. Они заточены на вопросы рационального поведения в опасных и чрезвычайных ситуациях (наши «методисты» переименовали даже известный термин «личность безопасного типа» в «личность безопасного типа поведения»; в школе к этому добавлена необходимая для государства подготовка молодёжи к воинской службе). И это - та часть деятельности по обеспечению безопасности, которая нацелена на защиту человека от обнаруженных им угроз, которая всем очевидна и которая была всегда. Однако есть ещё другая часть. Эта другая часть направлена на преобразование окружающей среды с целью предотвращения потенциальных опасностей. Эта часть была не всегда, а появилась только 10-12 тысяч лет назад при преодолении кризиса неолита. До этого люди питались, как и все прочие живые существа на Земле, «чем Бог пошлёт». Кризис возник в связи

с нехваткой природных продуктов питания для человечества, благодаря разуму размножившегося непропорционально естественным ресурсам (см. [1]). Выход из кризиса был стихийно найден в выращивании и использовании искусственных продуктов питания (сельскохозяйственных растений и животных), что, естественно, преобразует природную среду. Развиваясь и создавая всё новые технологии преобразования, со временем эта часть обеспечения безопасности сформировала основные современные сферы жизнедеятельности личности и общества. На этом основании, собственно, возник и базируется весь прогресс цивилизации. При этом получилось так, что люди, действуя в рамках преобразовательной парадигмы, ставят и видят перед собой лишь свои личные практические цели. Они не осознают, что эти цели являются, по существу, промежуточными, а вызываются они стремлением к повышению уровня безопасности. Так было все эти 10-12 тысяч лет, и так есть сегодня.

Но!

Как установлено учёными и признано мировым сообществом, с конца XX века преобразовательная жизнедеятельность человечества достигла «пределов роста». Выявилось, что возможности преобразований ограничены, поскольку окружающая природная среда оказалась единым суперорганизмом - биосферой с определёнными границами устойчивости к возмущениям, а человек – частью этого суперорганизма (большинство людей сегодня этого не понимают). Неожиданно встал вопрос о безопасности жизнедеятельности общества. Преобразовательной жизнедеятельности, которая благодаря возросшей мощи технологий породила угрозы глобального масштаба – и для биосферы, и для человека. Человечество пришло ко второму судьбоносному кризису своего развития. Ведь даже если удастся преодолеть этот кризис, обеспечив безопасность жизнедеятельности, мировому сообществу предстоит переход к устойчивому развитию с неминуемыми глобальными катаклизмами. Со стабилизацией, а, скорее всего, с сокращением численности населения Земного шара (снова см. [1])...

ЗА СЧЁТ КОГО?

Вот какие проблемы и вопросы стали основной причиной введения в сферу образования новой области «Безопасность жизнедеятельности», которая изначально предназначена была для просвещения нашего народа в преддверии катаклизмов. «Предупреждён - значит, вооружён!». Обратим внимание: в создавшихся условиях нужны, прежде всего, не технологии безопасности, которыми заполнено сегодня содержание школьного предмета ОБЖ и вузовской дисциплины БЖД (без этого, конечно, тоже не обойтись, но не в этом главное предназначение новой образовательной области; кстати, эти технологии построены на эмпирическом опыте, теории, позволяющей осмысливать и прогнозировать, здесь нет). Прежде всего, нужно и важно формирование современной культуры безопасности, имеющее целью преобразование мировоззрения наших людей, чтобы готовить смену их ценностных ориентиров, целей жизнедеятельности, образа жизни. Императивом для них должна стать не экономика («Максимальное удовлетворение непрерывно растущих материальных потребностей»? Например, Абрамовича?), а безопасность жизнедеятельности. Чтобы это позволило им не просто уворачиваться «от валящихся на головы кирпичей», а предвидеть и сознательно предотвращать небывалые опасности от действий общества. Сохраниться при сокращении численности населения Земли в условиях перехода к устойчивому развитию.

Без глубоко научного, теоретического осмысления сложившейся ситуации изменить мировоззрение невозможно: эмпирический подход, слепые экспериментальные пробы новых технологий могут привести к непредвиденным катастрофам. «XXI век станет либо веком расцвета науки, либо последним веком в истории человечества» (из материалов Конференции ООН 1992 г.). Ограничение же модернизаторами задач области БЖД передачей молодёжи технологий защиты «от валящихся кирпичей» - подобно тому, как «цивилизаторы» заменяли «туземцам» реальные ценности стеклянными бусами.

К сожалению, ознакомление не только со стандартами, изготовленными модернизаторами, но и с публикациями материалов многочисленных конференций по культуре безопасности, ОБЖ и БЖД показывает, что практически всё педагогическое сообщество увлечено в сторону, заданную

транснациональными операторами. От главного нас увели, и их грибы всё лучше и лучше растут в нашей темноте. Получается, что мы – как те туземцы.

Неужели в результате манипуляций с впариванием нам стеклянных бус западных ценностей наш народ обречён на вымирание, на уход с исторической арены???

Но нет.

Ещё сохраняется надежда, что нашим обществом не всё потеряно, «точка невозврата» не пройдена. Хотя модернизированное образование и другие средства информационной агрессии уже в определённой степени изменили и будут в ближайшее время и дальше изменять сознание нашей молодёжи (стандарты-то, как и западнизированные СМИ, работают), менталитет народа в целом, основы его культуры сохраняются в течение десятков, сотен, а, по мнению некоторых, и тысяч лет. И, возможно, поэтому совершится очередное русское чудо: наш многонациональный народ и наша самобытная цивилизация благодаря своим традиционным качествам – соборности, стремлению к справедливому обществу, опыту совместной жизни разных этносов и т.п. - не просто не сгинут, но и возглавят человечество в преодолении предстоящих катаклизмов. Ведь, как отмечено в [5], традиционный русский менталитет наиболее соответствует условиям устойчивого развития. И вполне возможно, что именно идея совместного мирового выхода из глобального кризиса станет национальной идеей, которую наши политики и политологи постоянно и безрезультатно ищут с начала «перестройки».

Только: «на Бога (на чудо) надейся, а сам не плошай». И сегодня своевременен не «КАРАУЛ!», как сразу подумалось, а сигнал SOS («Спасите Наши Души»)! Поэтому автор в очередной раз (см. [2], [3]) обращает внимание участников данной конференции на необходимость пересмотра своих представлений о главной цели образовательной области «Безопасность жизнедеятельности». На преподавательской среде лежит огромная ответственность за будущее нашего народа (как тут не вспомнить слова, приписываемые Бисмарку: «Германию объединил не немецкий солдат, а немецкий учитель»). В нашей деятельности сегодня целесообразно руководствоваться не только технологиями безопасного поведения, найденными эмпирическим методом проб и ошибок, не только научными разработками в педагогике, определяющими КАК надо преподавать, но и теоретической базой собственно образовательной области БЖД, обосновывающей ЧТО надо преподавать (см., например, [8], [9]).

Целостное изложение исходных идей по части образования в области безопасности, у истоков которого стоял общественный Фонд национальной и международной безопасности, представлено в книге [10] и в публикации [7].

Библиография

1. Власова Л.М. и др. Безопасность жизнедеятельности / Современный комплекс проблем безопасности. Учебно-методическое пособие для образовательных учреждений под редакцией Сапронова В.В. Москва, изд. «Поколение», 2009.
2. Власова Л.М., Сапронов В.В. О научном обеспечении культуры безопасности. Уральский государственный педагогический университет. Материалы второй международной научно-практической конференции «Культура безопасности: проблемы и перспективы». Екатеринбург, Россия, 2008.
3. Власова Л.М., Сапронов В.В. О перспективах и проблемах безопасности человека. УрГПУ, Материалы третьей международной научно-практической конференции «Культура безопасности: проблемы и перспективы». Екатеринбург, Россия, 2010.
4. Журавлев А.Л. Психология младшего школьника в условиях раннего экономического образования. Национальный союз негосударственных вузов. Доклады и материалы VIII международной научной конференции «Образование для XXI века». Московский гуманитарный университет, 2011.
5. Концепция перехода России к устойчивому развитию, 1995.

6. Овчинников В.В. Методы и технологии транснационального регулирования качества образовательных услуг. Сборник материалов Научно-экспертного совета при Председателе Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации «Государственные образовательные стандарты как средство обеспечения качества образования в условиях реформирования социальной сферы», Москва, 2006.
7. Сапронов В.В., Шершнева Л.И. Концепция развития образовательной области «Безопасность жизнедеятельности». Журнал «ОБЖ. Основы безопасности жизни», №10, 2007.
8. Сапронов В.В. О научном обеспечении культуры безопасности. Уральский государственный педагогический университет, материалы второй международной научно-практической конференции «Культура безопасности: проблемы и перспективы», Екатеринбург, Россия, 29-31 октября 2008.
9. Сапронов В.В. Идеи к общей теории безопасности. Журнал «ОБЖ. Основы безопасности жизни» №№ 1-3, 2007.
10. Шершнева Л.И. и др. «Безопасность человека». Учебно-методическое пособие для преподавателей. Москва, Фонд национальной и международной безопасности, 1995.



Именной Указатель

Nominal index

Антоновская Г.Н. Antonovskaya G.N.	40
Бандурин М.А. Bandurin M.A.	9, 17
Басакина И.М. Basakina I.M.	40
Быков А.А. Bykov A.A.	28
Волосухин В.А. Volosukhin V.A.	9, 17
Гера В.И. Gera V.I.	4
Глотов В.А. Glotov V.A.	40
Грибанов Я.И. Gribanov Ya.I.	28
Калугин А.В. Kalugin A.V.	28
Капустян Н.К. Kapustyay N.K.	40
Котляревский В.А. Kotlyarevsky V.A.	61, 70
Кришан А.Л. Krishan A.L.	77, 82
Кулябко В.В. Kulyabko V.V.	86
Лисанов М.В. Lisanov M.V.	103
Марченко М.А. Marchenko M.A.	4

Решетников Д.В. Reshetnikov D.V.	4
Савина А.В. Savina A.V	96
Сапронов В.В. Sapronov V.V.	120
Сумской С.И. Sumskoi S.I.	96
Четверик Н.П. Chetverik N. P.	102, 109, 114

