

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Военно-транспортный факультет

СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Материалы
IV Международной научно-практической конференции
Часть I**



Гомель 2015

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Военно-транспортный факультет

СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Материалы
IV Международной научно-практической конференции
Часть I

Под общей редакцией А. А. Поддубного

Гомель 2015

УДК 624.21/.8
ББК 39.112
С86

Редакционная коллегия:
А. А. Поддубный (отв. редактор), **А. М. Куксо** (зам. отв. редактора),
П. Г. Демидов (отв. секретарь)

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Строительные конструкции,
основания и фундаменты» канд. техн. наук, доцент *В. В. Талецкий*
(УО «БелГУТ»)

Строительство и восстановление искусственных сооружений : ма-
териалы IV Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред.
С86 А. А. Поддубного ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бе-
лорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 441 с.
ISBN 978-985-554-458-7 (ч. 1)

Изложены материалы IV Международной научно-практической конфе-
ренции «Строительство и восстановление искусственных сооружений», по-
зволяющие обобщить достигнутые результаты и наметить пути дальнейше-
го внедрения новых способов и технологических приемов мостовых восста-
новительных работ.

Материалы конференции могут быть полезны как для профессорско-
преподавательского состава университета, так и для курсантов и студентов.

УДК 624.21/.8
ББК 39.112

ISBN 978-985-554-458-7 (ч. 1)
ISBN 978-985-554-457-0

© Оформление. УО «БелГУТ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

- Д. В. Черкасов, П. Н. Горбачев.* О подходах к содержанию искусственных сооружений на Белорусской железной дороге..... 4
- В. А. Гордон, Т. В. Потураева, Е. В. Брума.* Динамические догрузки балки при повреждении упругого основания..... 9
- А. А. Поддубный, С. И. Новиков.* Ретроспектива формирования и развития железнодорожных войск по обеспечению транспортной безопасности на территории постсоветского пространства..... 20

СЕКЦИЯ I. РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

- А. Л. Башлакова, Д. А. Черноус, С. В. Шилько.* Определение термовязкоупругих характеристик стеклопластиков, применяемых в строительных конструкциях..... 29
- А. А. Васильев, М. Г. Осмоловская, К. И. Боровский.* Исследование эффективности применения комплексных добавок для восстановления бетона искусственных сооружений..... 32
- А. А. Васильев, Д. Н. Шевченко.* Расчетно-экспериментальная математическая модель карбонизации бетона сразу после изготовления с применением ТВО..... 36
- В. А. Гордон, Э. А. Кравцова.* Анализ спектра частот ступенчато-неоднородной балки..... 41
- В. И. Колчунов, Е. А. Скобелева.* Предложения к оценке доступности и экологической безопасности рекреационных пространств социально значимых объектов..... 46
- Д. Е. Мармыш, О. А. Насань, Л. А. Шемет, С. С. Щербаков.* Исследование повреждаемости технических систем методом конечных элементов..... 51
- Г. А. Семёнова.* Математическая модель изгибных и осесимметричных колебаний трубы переменной толщины при различных способах закрепления..... 56
- П. О. Сунак, С. В. Синий, О. П. Сунак, Ю. А. Мельник.* Исследование изменчивости кубиковой прочности сталефибробетона..... 61
- А. М. Трунаев.* Усовершенствование методов контроля нахождения подвижной единицы на рельсовой линии..... 65
- А. В. Мельник, С. В. Синий, П. О. Сунак, Б. О. Парасюк.* Деформационное состояние грунтовой плотины как состояние динамической системы..... 67
- А. В. Мельник, Ю. А. Мельник, Б. О. Парасюк.* Метод оперативного геодезического контроля за эксплуатационным состоянием плотин..... 72
- А. О. Шимановский, М. Х. Абдулкадер.* Особенности компьютерного моделирования контактного взаимодействия твердых тел с грунтом..... 76
- А. О. Шимановский.* Анализ прочности резервуара автоцистерны под действием сил, вызванных перемещением груза..... 80
- А. А. Васильев, А. Н. Булавко.* Анализ существующих методов оценки физического износа зданий и сооружений..... 84

СЕКЦИЯ II. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

- С. М. Бобрицкий.* Анализ состояния современных конструкций временных и краткосрочных железнодорожных мостов и переправ..... 89

<i>С. А. Вуколов, А. А. Озорнин, Д. Ю. Кравец.</i> К вопросу определения несущей способности винтовой сваи при воздействии горизонтальной нагрузки...	95
<i>А. А. Озорнин, С. А. Вуколов.</i> Козловой винтовой анкер и метод расчёта его несущей способности при воздействии горизонтальной нагрузки.....	101
<i>А. А. Озорнин, С. А. Вуколов.</i> Предложение по уточнению расчетной силы торможения на военных автодорожных разборных мостах в обосновании несущей способности винтовых свай	106
<i>Б. М. Григорьев, В. А. Вороной.</i> Применение мостовыми частями железнодорожных войск укладочного поезда с использованием крана УК-25/9-18 (УК-25/21) для восстановления мостов на железных дорогах страны.....	111
<i>П. Г. Демидов.</i> Понятие и основные элементы системы поддержки принятия логистических решений при планировании воинских перевозок.....	120
<i>И. В. Евченко, Д. В. Серебряков.</i> Исследование российского и мирового опыта применения контейнеров-цистерн для перевозки наливных грузов.....	123
<i>С. В. Кирик.</i> Повышение эффективности контейнерных перевозок.....	130
<i>М. Г. Козлов, А. М. Куксо.</i> Проблемы безопасного транспортирования вооружения и военной техники и возможность их решения.....	133
<i>Э. П. Кучинский, А. П. Фещенко, С. Д. Яроцкий.</i> Особенности организации транспортного обеспечения в вооруженных силах иностранных государств....	135
<i>Э. П. Кучинский, П. А. Соловьёв, А. Д. Корольчук.</i> Опыт дорожных войск по восстановлению мостовых переходов и переправ в Великую Отечественную войну и в послевоенный период.....	142
<i>В. В. Левтринский.</i> Использование гофрированных труб для ремонта существующих железобетонных труб.....	147
<i>К. В. Махаев.</i> Современная проблематика строительства подходов к временным и краткосрочным мостам.....	150
<i>Милан Девич, А. М. Сергеев.</i> Возможности применения «Симпролит системы®» в транспортном строительстве.....	153
<i>И. М. Нарышкин.</i> Возведение фортификационных сооружений в лесисто-болотистой местности.....	156
<i>С. В. Никитенко, Д. Н. Козел.</i> Некоторые аспекты способов охраны частей и подразделений транспортных войск при выполнении задач по восстановлению объектов.....	162
<i>Ю. Н. Окунев, А. И. Арушанов.</i> Некоторые проблемные вопросы организации маскировки мостовых переходов на ВАД.....	167
<i>А. Р. Пыдер.</i> Методика обучения моделированию безопасности обеспечивающих систем.....	170
<i>А. А. Светочный.</i> Угрозы транспортным коммуникациям и передвижению группировок транспортных войск в условиях военного времени.....	173
<i>А. Ю. Федоров.</i> Использование мягких понтонов при восстановлении железнодорожных мостов по старой оси.....	183
<i>Г. М. Феллер, Д. В. Серебряков.</i> К вопросу о совершенствовании системы технического прикрытия железных дорог.....	186
<i>А. А. Цивилёв.</i> Направления по повышению живучести мостовых переходов и переправ на транспортных коммуникациях в условиях воздействия современными средствами поражения.....	191
<i>Д. В. Шувалов.</i> Техническая разработка для транспортировки консольных частей сборно-разборных кранов.....	204

**СЕКЦИЯ III. СТРОИТЕЛЬСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ.
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

<i>Р. С. Алейников.</i> Особенности применения метода top-down при строительстве искусственных сооружений на железной дороге	209
<i>М. И. Афонина, А. Е. Балакина, А. М. Сергеев.</i> «Зеленые кровли» в исторических и фортификационных сооружениях.....	210
<i>Н. В. Бакаева, Д. В. Матюшин.</i> Подход к оценке шумового загрязнения городской среды на основе показателя биосферной совместимости.....	214
<i>Д. И. Бочкарев.</i> Безбалластные конструкции верхнего строения пути для искусственных сооружений.....	219
<i>А. А. Васильев, М. И. Романюк.</i> Исследование эффективности применения фибробетона для строительства искусственных сооружений.....	224
<i>Т. А. Власюк.</i> Ретроспектива строительства железных дорог и развития городов Беларуси в середине XIX – начале XX веков	227
<i>В. И. Гуринович.</i> Применение композитных материалов при строительстве искусственных сооружений.....	231
<i>Р. Ю. Долманюк.</i> Модифицированное фторангидритовое вяжущее и строительные материалы на его основе.....	233
<i>О. В. Захарова.</i> Оптимальная формула ПИД регулятора для систем жизнеобеспечения интеллектуального строения.....	236
<i>В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. А. Привалова, М. А. Хомич.</i> Повышение надежности рельсовых скреплений на безбалластном мостовом полотне...	241
<i>В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. А. Привалова, М. А. Хомич.</i> Эффективность применения путевых прокладок на мостовых брусьях.....	244
<i>П. В. Ковтун, О. В. Осипова, Д. А. Сапроненко, Ю. В. Цыганков.</i> К вопросу о надежной эксплуатации стрелочных переводов.....	246
<i>П. В. Ковтун, А. Н. Старовойтов, О. В. Осипова, Д. А. Сапроненко.</i> Математическая модель состояния стрелочных переводов по шаблону.....	249
<i>В. С. Козлов, Н. Н. Потапова.</i> Повышение энергосбережения как влияющий фактор экономического роста регионального потенциала.....	253
<i>А. В. Коломиец.</i> Исследование совместимости гипса с водонерастворимыми полимерами и оптимизация состава гипсополимерных образцов.....	255
<i>В. Г. Шевчук, В. В. Левтринский, А. А. Бортновский.</i> О возможности применения решетчатых металлических железнодорожных мостов для установки оборудования автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов.....	265
<i>М. В. Лыщик, Г. Я. Мусафирова.</i> Пеностекло – экологичный и энергосберегающий материал.....	271
<i>О. Г. Маслова, Е. И. Здитовец, А. А. Такунов.</i> Долговечность и эксплуатационная надежность мостов и путепроводов.....	276
<i>Г. Я. Мусафирова.</i> Полимерцементный материал для строительства искусственных сооружений.....	280
<i>Д. Ю. Мягков, Р. И. Могилянец, А. Н. Колосков.</i> Направления взаимодействия военного объекта с окружающей средой на аэродромном комплексе.....	283
<i>В. В. Петрусевич, А. В. Денисенко.</i> Сварные соединения в мостовых конструкциях	288

<i>В. В. Петрусевич, А. В. Денисенко.</i> Устройство для транспортирования и распределения жидких дорожно-строительных материалов.....	292
<i>В. В. Петрусевич.</i> Оценка влияния эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий на безопасность дорожного движения.....	295
<i>В. И. Раков.</i> Об актуальности организации радиомониторинга в структурах управления интеллектуальных строений.....	300
<i>В. В. Романенко, А. С. Лапушкин, Д. А. Рудковский, В. И. Петровский.</i> Содержание пути и сооружений с учетом реализации проектов перевозок пассажиров поездами городских линий в Минской дистанции пути.....	304
<i>В. В. Романенко, А. С. Лапушкин, Д. А. Рудковский, А. В. Дубровский.</i> Участковый метод организации содержания пути и сооружений в Воропаевской дистанции пути.....	307
<i>А. М. Сергеев.</i> Расквартирование и обустройство мест расположения миротворческих сил с использованием существующих зданий и возведения искусственных сооружений (из опыта операции ООН UNPROFOR 1992–1995 гг.).....	310
<i>С. Н. Петруша.</i> Расчет и конструирование искусственных сооружений	315
<i>А. М. Гормаш.</i> Строительство искусственных сооружений.....	318

СЕКЦИЯ IV. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

<i>А. С. Воронович, А. В. Лещенко.</i> Особенности развития современного электрического привода.....	323
<i>Н. Н. Галуза.</i> Основные проблемы и направления замены машин и оборудования, используемых в транспортных войсках при строительстве и восстановлении искусственных сооружений.....	326
<i>Д. В. Каркоцкий, А. Н. Малашин.</i> Синтез автономной системы электроснабжения при строительстве искусственных сооружений.....	328
<i>Т. С. Королёнок, В. Н. Галушко, В. С. Могила.</i> Использование машин с электроприводом для организации взаимного электроснабжения при строительстве и восстановлении искусственных сооружений.....	330
<i>С. И. Бахур, В. Н. Галушко, Т. С. Королёнок, А. В. Дробов.</i> Оценка работоспособности электрических систем с учетом условий эксплуатации.....	334
<i>А. В. Дробов, В. Н. Галушко, Т. С. Королёнок, С. И. Бахур.</i> Разработка веб-сервиса повышения энергоэффективности электрооборудования.....	339
<i>А. Я. Котлобай, В. Ф. Тамело.</i> Основные направления модернизации инженерной техники Республики Беларусь.....	344
<i>К. К. Крамник, М. Н. Мануйлов, Р. И. Могилянец, О. А. Плиговка.</i> Повышение надежности строительно-дорожных машин путем нанесения на их рабочие органы износостойких покрытий.....	349
<i>Д. Ю. Макацария, Д. В. Мартинович.</i> Подходы к организации транспортировки материалов при проведении регенерации асфальтобетонного покрытия на дорогах с искусственными сооружениями.....	351
<i>А. Б. Менжинский, А. Н. Малашин.</i> Система электроснабжения автономного объекта на базе свободнопоршневого двигателя с генератором возвратно-поступательного движения.....	355
<i>П. Б. Менжинский, А. Е. Калёда.</i> Комплекс программ для расчёта систем энергопотребления и выбора резервного источника энергоснабжения.....	357

<i>Д. Ю. Мягков, А. Н. Колосков.</i> Совершенствование пункта ежедневного технического обслуживания постоянного парка авиационной базы.....	359
<i>С. А. Сосновский.</i> Анализ надежности тормозной системы автомобилей МАЗ...	363
<i>О. С. Ананьева, В. Н. Подольская.</i> Совместная работа тяговой сети метрополитена и емкостных накопителей энергии.....	367

СИМПОЗИУМ. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ КОНСТРУКЦИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД

<i>С. А. Воробьев.</i> Колебания круговой цилиндрической сэндвич-оболочки при учете демпфирующих свойств материалов слоев.....	370
<i>В. А. Вестяк.</i> Нестационарные колебания упругого пространства со сферической полостью под действием объемных сил.....	376
<i>Д. Л. Гейзина.</i> Задачи гидроупругости тонкостенных конструкций, взаимодействующих со слоем вязкой жидкости.....	378
<i>О. В. Елистратова, И. В. Плаксина.</i> Динамика взаимодействия трех соосных цилиндрических оболочек, свободно опертых на концах, взаимодействующих с пульсирующими слоями вязкой жидкости.....	382
<i>А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский.</i> Учёт симметрии граничных условий в краевых задачах упругой диффузии.....	385
<i>Д. В. Кондратов, Ю. Н. Кондратова, Л. И. Могилевич, И. В. Плаксина.</i> Математическое моделирование взаимодействия упругой геометрически нерегулярной внешней оболочки тонким слоем вязкой жидкости в условиях пульсации давления.....	389
<i>Д. В. Леоненко, Ю. М. Плескачевский.</i> Собственные колебания трехслойной круговой пластины на двухпараметрическом упругом основании.....	392
<i>Д. В. Леоненко, Л. Н. Рабинский.</i> Деформирование трехслойного стержня на упругом основании Винклера.....	397
<i>Н. А. Локтева, Д. В. Тарлаковский.</i> Определение виброускорения пластины при взаимодействии ее с плоской волной в грунте.....	401
<i>Л. И. Могилевич, Д. В. Кондратов, В. С. Попов, А. А. Попова.</i> Колебания упругих круглых пластин, образующих стенки щелевого канала с пульсирующим слоем вязкой несжимаемой жидкости.....	405
<i>А. В. Нетребко, С. Г. Пшеничнов.</i> Динамика линейно-вязкоупругих цилиндрических оболочек конечной длины.....	407
<i>А. А. Поддубный, А. В. Яровая.</i> Механико-математическая модель деформирования трехслойной панели, частично опертой на упругое основание, с учетом нелинейных свойств материалов.....	412
<i>А. А. Поддубный, А. В. Яровая, Ю. В. Захарчук.</i> Экспериментальное исследование прогибов трехслойных панелей, частично опертых на упругое основание, и рекомендации по их использованию в строительной практике	416
<i>В. С. Попов, А. А. Попова, Л. И. Могилевич.</i> Динамика взаимодействия пластины, установленной на упругом основании, с тонким слоем вязкой несжимаемой жидкости и вибрирующим штампом.....	420
<i>Г. А. Сапожников, Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков.</i> Плоская задача об ударе цилиндрической оболочки с наполнителем по упругому полупространству.....	422
<i>Э. И. Старовойтов, Ю. В. Громыко, Л. Н. Рабинский.</i> Термонапряженное состояние металлополимерного стержня на упругом основании.....	427

Научно-практическое издание

**СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Материалы IV Международной научно-практической конференции
Часть I

Издается в авторской редакции

Технический редактор В. Н. Кучерова
Корректор Т. А. Пугач

Подписано в печать 10.11.2015 г. Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 25,81. Уч.-изд. л. 26,29. Тираж 95 экз.
Зак. № . Изд. № 94

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель.

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПЛОТИН

А. В. МЕЛЬНИК¹, Ю. А. МЕЛЬНИК², Б. О. ПАРАСЮК²

¹*Восточноевропейский национальный университет им. Леси Украинки,*

²*Луцкий национальный технический университет, Украина*

Гидротехнические сооружения имеют важное экономическое и экологическое, военное значение. Исключительно важными из таких искусственных сооружений являются сооружения крупномасштабные и высоконапорные, а также на объектах, имеющих для страны стратегическое значение (большие водохранилища, пруды-охладители для АЭС и т. п.).

При строительстве, эксплуатации и восстановлении сооружений подобного рода необходимо учитывать целый ряд природных и технических факторов, включая особенности климатических, гидрогеологических условий участка строительства [1 и др.].

Важнейшим и наиболее распространённым типом водоподпорных гидротехнических сооружений является плотина. Обычно она служит основным сооружением гидроузла.

В военном значении важность плотин заключается прежде всего в том, что разрушение этих гидротехнических сооружений может привести к нарушению существующей системы транспортных коммуникаций (водных и/или сухопутных), а в случае использования плотин для создания искусственных водных преград на направлениях возможного нападения вражеских сил – облегчить противнику их форсирование. Кроме того, аварии на плотинах могут привести к тяжелым экологическим и экономическим последствиям, исправление которых требует значительных затрат на привлечение техники и людских ресурсов.

Таким образом, актуальной задачей эксплуатации и технического прикрытия плотин является наблюдение за их состоянием с использованием современных технических средств и методов оперативной обработки результатов исследований, что позволит эффективно предупреждать аварии, значительно уменьшить затраты и ускорить восстановление элементов конструкции плотины после разрушений.

Проектирование при строительстве или восстановлении грунтовых плотин включает в себя множество предварительных расчётов: фильтрационной устойчивости, напряжений, деформаций, осадок тела и основания плотины, горизонтальных смещений и ряд других [1–3 и др.].

Грунтовые плотины по уровню сложности развития в них деформационных процессов и степенью аварийности имеют в несколько раз высший по-

рядок, чем любое гидротехническое сооружение другого типа [2, 3]. Для надежной оценки пространственно-временного состояния таких плотин необходимо выполнять комплексные режимные наблюдения. Наблюдения могут быть геодезические, геологические, гидрогеологические, геофизические и прочие. На основании таких данных оцениваются разные параметры и явления, которые служат причиной процессов деформаций, в том числе и аварийных. Для этого разрабатываются математические модели оценки и прогнозирования вертикальных и горизонтальных смещений. Учитывая широкий спектр инженерно-геологических условий строительства и разной сложности грунтовых плотин, применение каждого конкретного метода имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от того, какие параметры модели являются определяющими и какая проблема моделирования остается актуальной.

Наша цель – разработка оперативного геодезического метода, который базируется на современной технологии GNSS-наблюдений. Метод предусматривает приоритетные наблюдения за центральной закладочной маркой (Мз27) и оценку деформаций на основе анализа матриц трехмерных преобразований координат [4, 5].

Основой предлагаемого решения является минимизация расстояний от оптимальной точки P (Мз27) к соответствующим сторонам прямых засечек (рисунок 1). Как исходное, возьмем условие коллинеарности двух прямых, измеренных в двух сериях, то есть условие пространственного совпадения:

$$\vec{P} \times \vec{p} = \vec{V} . \quad (1)$$

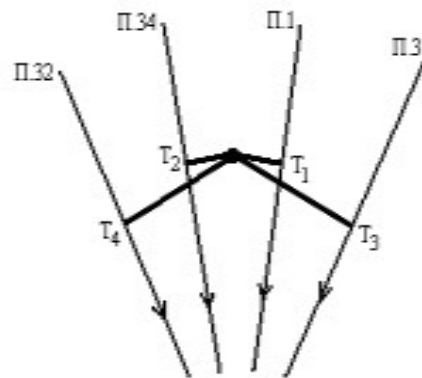


Рисунок 1 – Схема к условию минимизации (4)

Дадим геометрическую интерпретацию условия минимизации. Очевидно, квадрат модуля невязки (1):

$$\left| \vec{V}_i \right|^2 = \left| \vec{P}_i \times \vec{p}_i \right|^2 . \quad (2)$$

С другой стороны, квадрат расстояний между двумя перекрестными прямыми:

$$d^2 = \frac{|\vec{P} \times \vec{p}|^2}{|\vec{p}|^2}. \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), окончательно условие минимизации запишем:

$$|V_i|^2 = d_i^2 |p_i|^2. \quad (4)$$

Условие коллинеарности (1) запишем в таком компонентном виде:

$$\begin{pmatrix} 0 & z & -y \\ -z & 0 & x \\ y & -x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}, \quad (5)$$

или в матричной записи для n точек:

$$A\vec{R} - A\vec{R}_0 = \vec{V}. \quad (6)$$

Обозначим: $R = \vec{R} + dR$ и $\Delta R_i = R - R_{i0}$. После очевидных преобразований имеем:

$$[A^T A] d\vec{R} + [A^T A \Delta \vec{R}] = 0, \quad (7)$$

где

$$[A^T A] = \begin{pmatrix} [y^2 + z^2] & -xy & -zx \\ -xy & [x^2 + z^2] & -yz \\ -xz & -yz & [x^2 + z^2] \end{pmatrix}; \quad (8)$$

$$[A^T A \Delta \vec{R}] = \begin{pmatrix} [y^2 + z^2 \Delta X] - [y\Delta Y + z\Delta Z \ x] \\ [x^2 + z^2 \Delta Y] - [x\Delta X + z\Delta Z \ y] \\ [x^2 + y^2 \Delta Z] - [x\Delta X + y\Delta Y \ z] \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Пусть приближенные значения и исходные данные следующие [6] (таблицы 1, 2):

$$\bar{X} = 355,80, \quad \bar{Y} = -394,20, \quad \bar{Z} = 30,70.$$

Расчёт параметров минимизации приведен в таблице 3.

Таблица 1

	X_0	Y_0	Z_0	ΔX	ΔY	ΔZ
1	907,60	-143,25	1322,35	-551,80	-250,95	-1291,65
2	-534,60	-734,42	1333,41	890,22	340,22	-1302,71
3	-573,69	68,03	1331,18	929,49	-462,23	-1300,48
4	922,54	-890,82	1329,46	-566,46	496,62	-1298,78

Таблица 2

	x	y	z
1	-65,402	-29,727	-153,093
2	105,714	40,467	-154,574
3	110,293	-54,797	-154,239
4	-76,295	59,004	-154,216

Таблица 3

	$ V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$	$ p = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	$d = V / P $
1	21,68	169,11	0,13 м
2	62,10	191,59	0,32 м
3	5,60	197,38	0,03 м
4	42,04	178,30	0,24 м

Согласно (7–9) запишем:

$$\begin{pmatrix} 0 & -153 \cdot 093 & 29 \cdot 727 \\ 153 \cdot 093 & 0 & -65 \cdot 402 \\ -29 \cdot 727 & 65 \cdot 402 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -21 \cdot 809 \\ -0 \cdot 224 \\ -9 \cdot 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -21 \cdot 161 \\ -5 \cdot 814 \\ 10 \cdot 164 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -154 \cdot 574 & -40 \cdot 467 \\ 154 \cdot 574 & 0 & 105 \cdot 714 \\ 40 \cdot 467 & -105 \cdot 714 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 127 \cdot 599 \\ -81 \cdot 995 \\ 65 \cdot 800 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 51 \cdot 792 \\ -8 \cdot 635 \\ 33 \cdot 160 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -154 \cdot 239 & 54 \cdot 797 \\ 154 \cdot 239 & 0 & -110 \cdot 293 \\ -54 \cdot 797 & -110 \cdot 293 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 31 \cdot 940 \\ -70 \cdot 233 \\ 47 \cdot 470 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x3} \\ V_{y3} \\ V_{z3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0 \cdot 371 \\ -5 \cdot 180 \\ -2 \cdot 106 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -154 \cdot 216 & 50 \cdot 004 \\ 154 \cdot 216 & 0 & -67 \cdot 295 \\ -54 \cdot 004 & 67 \cdot 295 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 45 \cdot 285 \\ -0 \cdot 322 \\ -19 \cdot 884 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x4} \\ V_{y4} \\ V_{z4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -38 \cdot 961 \\ -6 \cdot 603 \\ 14 \cdot 456 \end{pmatrix},$$

$$dX = 0,16, \quad X = \bar{X} + dX = 355,96, \quad M_x = 0,08;$$

$$dY = 0,37, \quad Y = \bar{Y} + dY = -393,96, \quad M_y = 0,07;$$

$$dZ = 0,46, \quad Z = \bar{Z} + dZ = 31,16, \quad M_z = 0,13.$$

Приведенные тестовые расчеты подтверждают корректность предложенного подхода.

Вывод. Предложенный метод дает возможность выполнять мониторингово-геодезические наблюдения с необходимой точностью и оперативностью, позволяет создать достаточно надежную сеть контроля за состоянием таких сложных водоподпорных гидротехнических сооружений, как грунтовые плотины значительной протяженности.

Список литературы

- 1 ДБН В.2.4-20:2014 Плотины из грунтовых материалов. Основные положения [Текст] (Вступает в силу с 01.07.2015 г. согласно Приказу № 313 от 13.11.2014 г.). – Киев : Мин-во регион. развития, стр-ва и жил.-коммун. х-ва Украины, 2015.
- 2 **Нестеров, М. В.** Гидротехнические сооружения [Текст] : учеб. пособие / М. В. Нестеров. – Мн. : Новое знание, 2006. – 616 с.
- 3 **Гольдин, А. Л.** Проектирование грунтовых плотин [Текст] : учеб. пособие / А. Л. Гольдин, Л. Н. Рассказов. - М. : Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
- 4 **Гофманн-Велленгоф, Б.** Глобальна система визначення місцеположення (GPS) [Текст] / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз. – Київ : Наук. думка, 1996. – 377 с.
- 5 **Третьяк, К.** Оптимізація побудови геодезичних мереж Дністровської ГАЕС супутниковими радіонавігаційними технологіями [Текст] / К. Третьяк, І. Сідоров // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2005. – С. 207–219.
- 6 **Мельник, О. В.** Про причини деформаційних процесів ґрунтової греблі ХАЕС [Текст] / О. В. Мельник // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : сб. науч. тр. – Львів, 2010. – Вып. 19. – С. 67–74.

УДК 624.134:004

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ГРУНТОМ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, М. Х. АБДУЛКАДЕР

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

При решении ряда технических задач возникает необходимость расчетов взаимодействия деформируемых твердых тел с грунтом. С одной стороны, имеется необходимость анализа контактного взаимодействия различных сооружений с основаниями, с другой – важно знать, какие нагрузки возникают при бурении скважин и разработке иных отверстий, чтобы обеспечить оптимальные режимы работы оборудования.

В общем случае для грунта характерна нелинейная зависимость между нагрузкой и осадкой площадки, передающей нагрузку. Напряженно-деформированное состояние таких материалов описывается сложными упруго-пластическими моделями, для которых предел текучести формирует так называемую поверхность текучести. Ее уравнение принимают в зависимости от критерия прочности, по которому производят расчет.

При аналитических исследованиях параметров упруго-пластического состояния наибольшее распространение получили критерии прочности Мора-Кулона, Друкера-Прагера, Ладе-Дункана, Мацуока-Накаи и др. [1].