

этапом является контроль качества проектных и строительно-монтажных работ, включающий входной контроль материалов и оборудования, операционный контроль при выполнении работ и приемочный контроль после завершения работ. По завершении проекта оформляется исполнительная документация, включающая акты скрытых работ, протоколы испытаний и измерений и сертификаты соответствия на материалы и оборудование. После завершения строительства осуществляется мониторинг и анализ результатов реализации проекта, оценивается соответствие фактических показателей проектным, выявляются отклонения и разрабатываются корректирующие мероприятия, а также готовится отчет о завершении проекта и передается заказчику.

Выводы. Проектирование объектов инженерных систем представляет сложный и многогранный процесс, который требует глубоких знаний в области инженерии, строительства и управления. Эффективное проектирование обеспечивает не только функциональность и надежность систем, но и их устойчивость к внешним воздействиям и изменениям.

Список литературы

- 1 Епифанов, В. А. Создание современных систем нормативов и стандартов в проектировании объектов различного назначения в России / В. А. Епифанов // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2021. – № 16–1. – С. 321–324.
- 2 Георгиева, А. Й. Оптимизация процесса проектирования систем водоснабжения в зданиях / А. Й. Георгиева // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 6. – С. 94–97.
- 3 Кудина, Е. Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.

УДК 539.3

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВОЛНЫ ПРИ ГИДРОУДАРЕ В ДВУХСЛОЙНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ТРУБАХ

С. В. КИРГИНЦЕВА, В. В. МОЖАРОВСКИЙ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

kirgintseva.s@mail.ru, val-mozh@yandex.ru

Актуальность. В случае, если инфраструктуры водопроводов устарели, необходим ремонт, который бывает очень дорогостоящим, поэтому требуется использовать новые бестраншейные технологии для ремонта трубопроводов (CIPP) [1], то есть на основе метода вставки отверженной, пропитанной смолой трубы («чулка»), которая часто бывает композитной. Разработка и развитие теории на базе механики элементов конструкций из

ортотропного материала, описывающей явления гидроудара при течении жидкости, является актуальной задачей. В частности, сюда входит расчет скорости волны, которая создает избыточное давление в трубе.

Цель работы – определение скорости волны при гидроударе для двухслойных труб из композитов, а также решение задачи компьютерной реализации расчета вышеуказанных параметров для труб из композиционных материалов и сравнение расчета с другими методиками.

Методики определения скорости волны при гидравлическом ударе при течении жидкости в двухслойных композитных трубах.

Скорость волны в ортотропных трубах с ортотропным покрытием определяется соотношением [2]

$$C = \sqrt{\frac{K / \rho}{1 + K\Omega}};$$

$$\Omega = \frac{2}{\alpha} \left[-1 + \left(\frac{-\beta}{\alpha} + 1 \right) \left(\frac{r_a}{r_b} \right)^{-2k_1} \times \right. \\ \left. \times \frac{\left[\alpha \left(1 - \left(r_c / r_b \right)^{-2k_1} g / \gamma \right) - g \left(1 - \left(r_c / r_b \right)^{-2k_1} \right) \right]}{\beta \left(1 - \left(r_a / r_b \right)^{-2k_1} \right) \left(1 - \left(r_c / r_b \right)^{-2k_1} g / \gamma \right) - g \left(1 - \left(r_c / r_b \right)^{-2k_1} \right) \left(1 - \left(r_a / r_b \right)^{-2k_1} \beta / \alpha \right)} \right],$$

$$\beta = A_{12}^{(1)} - k_1 A_{11}^{(1)}; \alpha = A_{11}^{(1)} k_1 + A_{12}^{(1)}; \gamma = A_{11}^{(2)} k_2 + A_{12}^{(2)}; g = A_{12}^{(2)} - k_2 A_{11}^{(2)};$$

$$A_{11} = \frac{E_r}{1 - \nu_{r0} V_{0r}}; A_{12} = \nu_{r0} \frac{E_0}{1 - \nu_{r0} V_{0r}}; A_{22} = \frac{E_0}{1 - \nu_{r0} V_{0r}},$$

где r_a – внутренний радиус; r_c – внешний радиус; r_b – межслойный радиус для двухслойной трубы; верхние индексы «1» и «2» характеризуют материалы покрытия и трубы.

Коэффициенты обобщенного закона Гука определяются по зависимостям, в которых упругие характеристики материала вычисляют по правилу смесей [2]

$$E_r = E_m \frac{1 + \eta V}{1 - \eta V}, \quad E_0 = V E_f + (1 - V) E_m; \quad \nu_{r0} = V \nu_f + (1 - V) \nu_m;$$

$$\eta = \frac{E_f - E_m}{E_f + E_m}; \quad G_{r0} = \frac{G_f G_m}{G_f (1 - V) + G_m V},$$

где E_f, G_f, ν_f – технические постоянные волокна, E_m, G_m, ν_m – технические постоянные матрицы, ρ – плотность жидкости, K – объёмный модуль упругости жидкости, V – объемное содержание волокон.

В [3] скорость волны для многослойных труб определяется следующим образом:

$$C = c^* / \sqrt{1 + a_{22} D K},$$

где $c^* = \sqrt{K / \rho}$ – скорость звука в жидкости; a_{22} – коэффициент, вычисляемый согласно методике [3]; D – диаметр трубы; параметры c^* и E являются константами с известными значениями для большинства жидкостей.

По указанным методикам создана программа в среде *Delphi*, которая адаптирована для двухслойных труб из композитов и проведен расчет для случая двухслойной ортотропной трубы.

Пример расчета. Рассмотрим двухслойную ортотропную трубу из материала, указанного в [4] (эпоксидная смола со стекловолокном: $E_f = 86$ ГПа; $v_f = 0,22$; $E_m = 3,76$ ГПа; $v_m = 0,374$), с радиусами $r_a = 0,12$ м, $r_b = 0,135$ м, $r_c = 0,15$ м. Исследуем влияние процентного содержания волокна в матрице композиционного материала на скорость волны при гидроударе. Результаты представлены на рисунке 1.

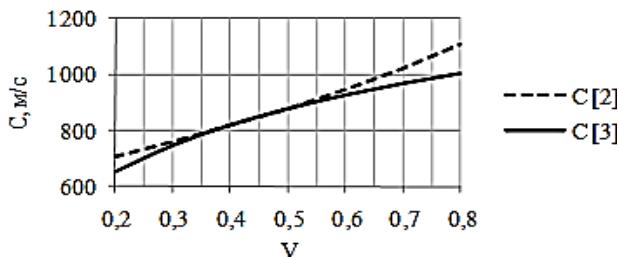


Рисунок 1 – График зависимости скорости волны, рассчитанной по методикам [2] и [3], от содержания волокна в матрице композиционного материала

Выводы. Представлены методики расчета скорости волны при гидроударе при течении жидкости в двухслойных трубах из композитов. Из рисунка 1 видно, что значения скоростей волн при гидравлическом ударе по методикам, представленным в [2] и [3], близки по значениям, отличие составляет не более 10 %. Для оптимизации трубопроводов из композиционных материалов необходимо производить компьютерный расчет скорости волны, далее определять возникающие дополнительные напряжения, что позволит предотвратить разрушения труб при эксплуатации.

Список литературы

1 Можаровский, В. В. Обзор литературы о реновации и перепрофилировании трубопроводов и явлений гидроудара с использованием инноваций и компьютерных технологий / В. В. Можаровский, Ю. В. Василевич, С. В. Киргинцева // Теоретическая

и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2024. – Вып. 39. – С. 86–99.

2 **Можаровский, В. В.** Скорость волны при гидроударе и напряженно-деформированное состояние слоистых футерованных труб из ортотропных материалов / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – № 2 (51). – С. 44–51.

3 **Pavlou, Dimitrios G.** Composite Materials in Piping Applications / Dimitrios G. Pavlou; Technological Institute of Halkida (TEI-Halkida). – Greece : Mechanical Engineering Department, 2013. – 395 p.

4 **Volnei Titaa.** Theoretical Models to Predict the Mechanical Behavior of Thick Composite Tubes / Volnei Titaa, Mauricio Francisco Caliri Júniora, Ernesto Massaroppi Juniorb // Materials Research. – 2012. – № 15 (1). – Р. 70–80.

УДК 004.9:528.8:332.1

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЛУЖБ И ПРЕДПРИЯТИЙ ЖКХ В ЕДИНУЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ГОРОДА

B. N. КОВАЛЕНКО

*Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь,
Общество с ограниченной ответственностью «ПроГИС», г. Минск,
Республика Беларусь, kovalbyy@gmail.com*

Актуальность. Современные города сталкиваются с постоянным ростом нагрузки и усложнением управления инженерной инфраструктурой, что делает необходимым повышение энергоэффективности и оптимизацию производственных бизнес-процессов. Существующие цифровые системы ресурсоснабжающих организаций и специализированных служб (МЧС, ГАИ, Зеленстрой, Автодор и др.) зачастую функционируют асинхронно и разрозненно, представляя собой «обособленные царства», где взаимодействие с иными организациями осуществляется на минимальном уровне.

Отсутствие простых каналов связи и постоянного обмена информацией приводит к дублированию и устареванию данных, сложностям в координации между ведомствами, увеличению времени на принятие управлеченческих решений и неэффективному использованию ресурсов.

В условиях цифровизации городского хозяйства необходимо интегрировать разные информационные системы в единую геоинформационную платформу (доступную как службам, так и населению), которая позволит централизовать управление инженерной инфраструктурой, повысить скорость реагирования на аварийные ситуации и создать основу для концепции «умного города».

Цель работы – разработка методологии интеграции существующих цифровых платформ и информационных технологий специализированных служб и ресурсоснабжающих организаций (электронных моделей, цифровых двойни-