

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В СБОРНЫХ ОБДЕЛКАХ НАПОРНЫХ ТУННЕЛЕЙ

Панасенко А.В.

ПАО «Укргидропроект»
г. Харьков, Украина

АНОТАЦІЯ: У статті розглядається розрахунок збірних обробок напірних тунелів за допомогою програмного комплексу Ліра 9.6. Береться до уваги можливість застосування сталевібробетону в збірних обробках напірних тунелів.

АННОТАЦИЯ: В статье рассматривается расчет сборных обделок напорных туннелей с помощью программного комплекса Лира 9.6. Принимается во внимание возможность применения сталефибробетона в сборных обделках напорных туннелей.

ABSTRACT: The article reseaches calculation precast lining of pressure tunnels by means of programmatic complex Lyre 9.6. It takes into account the possibility of steel fibre concrete in precast concrete lining pressure tunnels.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: напорные туннели, сборные обделки, сталевібробетон.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В мировой практике перспективным и интенсивно развиваемым направлением совершенствования железобетонных конструкций является применение сталевібробетон - композитных материалов на основе бетона, в которых в качестве армирования используется специально изготовленная стальная фибра, равномерно и дисперсно-распределяемая в объеме бетона-матрицы. Сталевібробетон, как показывает опыт применения, имеет преимущества перед бетонами и железобетонами, в частности, повышенную прочность на растяжение и сжатие,

износостойкость, водонепроницаемость, морозостойкость, коррозионную стойкость.

Использование сталефибробетона в сборных обделках напорного туннеля вызывает особый интерес, поскольку возможны следующие положительные эффекты:

- исключение или снижение трудозатрат на изготовление арматурных каркасов для армирования сегментов;
- повышение степени механизации и автоматизации процесса изготовления блоков;
- возможное сокращение количества заводских площадей, рассчитанных на складирование и изготовление арматурных каркасов.

Учитывая специфику возведения и работы при эксплуатации туннельных сборных обделок, можно выделить следующие основные преимущества фибробетона перед железобетоном:

- прочность на сжатие и растяжение (работа материала блока на местное сжатие, возникающее от щитовых домкратов);
- прочность на растяжение при изгибе (работа обделки на эксплуатационные нагрузки);
- прочность на срез и скалывание (границы и углы обделки, особенно в зоне канавки уплотнительного резинового контура);
- трещиностойкость и рассредоточенное трещинообразование (работа обделки на эксплуатационные нагрузки);
- выносливость (работа обделки на динамические воздействия от подвижного состава);
- ударопрочность (выемка блоков из опалубки, транспортировка блоков, монтаж блоков эректором);
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- устойчивость к усадке и ползучести;
- отсутствие защитных слоев (при отсутствии стержневой арматуры).

В строительной практике при обосновании проектных решений определяющую роль играют нормативные документы, положения которых являются обязательными к исполнению. Поэтому возможность применения любых конструкций на практике напрямую зависит от наличия, качественного состава и адекватности нормативной базы в рассматриваемой области. Как правило, используется подход, основывающийся на том, что прочностные показатели сталефибробетона определяются аналитически в зависимости от характеристик исходных материалов - бетона и стальной фибры, найденных независимо друг от друга. Такой подход отличается простотой применения и возможностью быстрого определения физико-механических свойств сталефибробетона,

используя аналитические зависимости, но вместе с этим имеет существенный недостаток – косвенный учет влияния типа фибры (форма, длина, диаметр) и ее дозировки в смеси на прочностные и деформативные характеристики материала. Как показывает практика строительства туннелей транспортного назначения, это приводит к излишним запасам при проектировании сталефибробетона конструкций и не позволяет эффективно использовать материал. Если рассмотреть зарубежную практику, то при определении физико-механических свойств сталефибробетона используются экспериментальные подходы с позиций феноменологической модели материала, которая предполагает исследование физического закона материала и определение его физико-механических характеристик в композите, учитывая таким образом фактический состав сталефибробетона, количеством фибры на основе определенного типа бетона. Учитывая сложную структуру материала, дисперсно-армированного волокном, такой способ позволяет наиболее корректно учесть особенности работы материала.

В настоящее время существуют зарубежные стандарты, специально разработанные для определения прочностных и деформативных свойств фибробетона, устанавливающие порядок проведения испытаний образцов. В свою очередь, зарубежные стандарты по фибробетонным конструкциям, основываясь на рассмотрении фибробетона как уникального материала, предусматривают испытание образцов с целью определения физико-механических свойств материала для их использования при проектировании.

В данной работе описывается выполненный расчет, основывающийся на таком подходе, применительно к сборным обделкам напорного туннеля из сталефибробетона.

РАСЧЕТ ТЮБИНГОВОЙ ОБДЕЛКИ НАПОРНОГО ТУННЕЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ШВАХ МЕЖДУ ТЮБИНГАМИ В СЕЧЕНИИ ПОПЕРЕК ОСИ ТУННЕЛЯ НА НАГРУЗКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Поперечное сечение обделки туннеля скомпоновано из 6-ти криволинейных сталефибробетонных элементов (тубингов) шириной вдоль оси туннеля 1,0 м. Толщина тубингов составляет 0,25 м. Внутренний радиус обделки $r_{\text{в}}=2,63$ м, наружный радиус - $r_{\text{н}}=2,88$ м.

На обделку туннеля в эксплуатационный период действуют силы собственного веса, внутреннее давление воды, температурные воздействия. Под действием этих нагрузок и воздействий швы между тубингами могут раскрываться. Выполненная заполнительная цементация обеспечивает совместную работу тубингов и вмещающего массива.

Для выполнения расчетов используется расчетная схема, включающая обделку и вмещающий массив горных пород. Ввиду симметрии нагрузок и конструкции рассматривается половина длины тубинга вместе с прилегающим к нему массивом горных пород. Характеристики грунтов (аргиллиты): плотность грунта в водонасыщенном состоянии - 2450 кг/м^3 , модуль деформации – 1000 МПа , коэффициент Пуассона – $0,30$; коэффициент крепости породы – $1,5...2,0$, угол внутреннего трения 29° , расчетное сопротивление породы сжатия – $8,0 \text{ МПа}$, коэффициент удельного отпора породы 760 МПа/м .

В соответствии с рекомендациями норм проектирования в расчет включается область грунтового массива, радиус внешнего контура которой принимается равным не менее $3r_n$, где r_n – наружный радиус обделки.

Грунт расчетной области принимается в соответствии с моделью Мора-Кулона. Расчетная схема представлена на рис. 1.

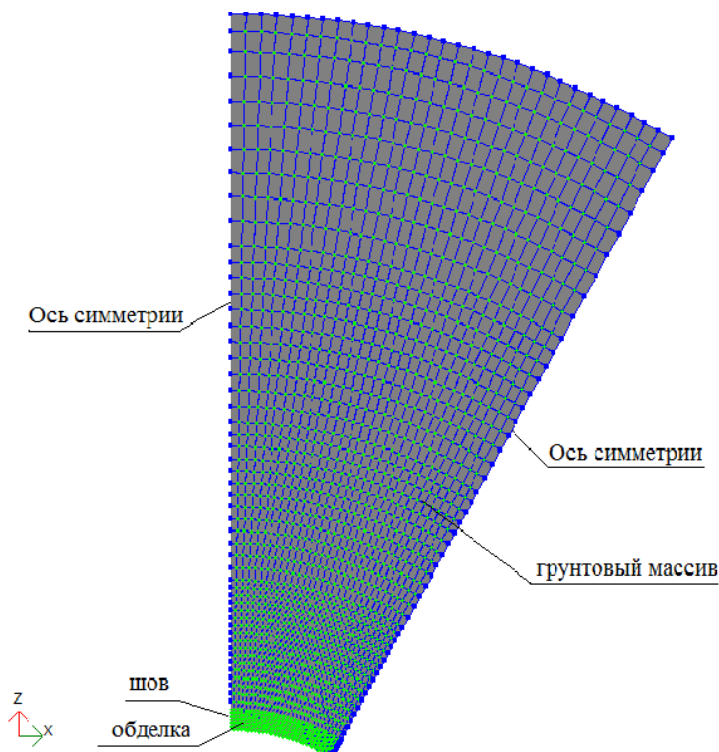


Рис. 1. Расчетная схема

При моделировании материала обделки (сталефибробетона) применялся КЭ №230, учитывающий физическую нелинейность материала с использованием «кусочно-линейной» зависимости «напряжение-деформация» (рис. 2). Для решения задачи использовался шагово-итерационный нелинейный решатель. Численные значения для диаграммы состояния « σ - ϵ » были приняты на основании результатов, описанных в работе (7).

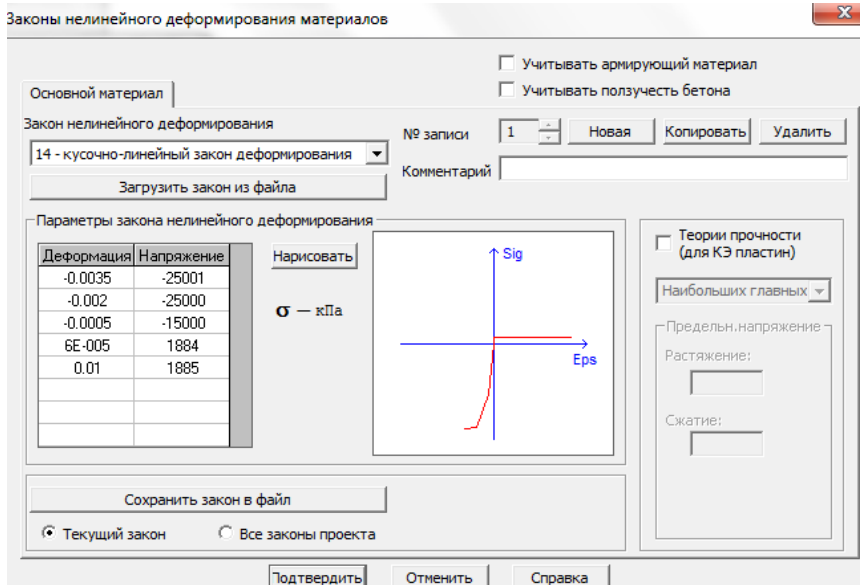


Рис. 2. Параметры закона нелинейного деформирования сталефибробетона с фиброй в количестве 60 кг/м^3

Основные физико-механические характеристики материала:

- коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$;
- удельный вес материала $R_0 = 23,5 \text{ кН/м}^3$.

Используя разработанную расчетную схему и учитывая вышеуказанные нагрузки, выполнен расчет напряженно-деформированного состояния сборной обделки напорного туннеля из сталефибробетона с фиброй в количестве 60 кг/м^3 для эксплуатационного периода. Полученные перемещения, приведены на рис. 3, 4.

Результаты этих расчетов необходимы для проектирования уплотнений из этилен-пропилен-диенового каучука, устраиваемых по периметру каждого тубинга в пазы трапецидального сечения.

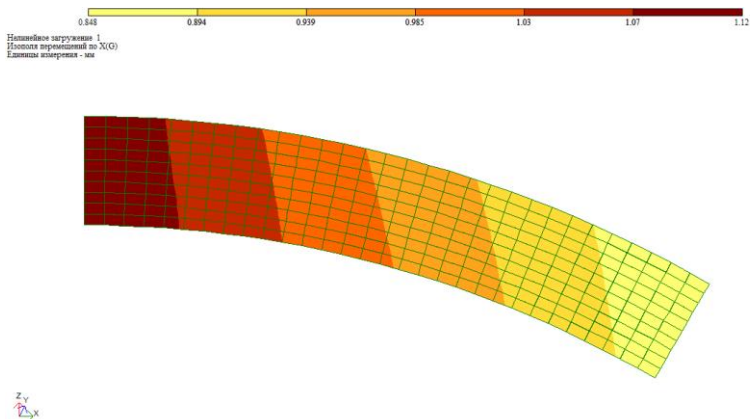


Рис. 3. Изополя перемещений в сборной обделке из сталефибробетона по оси X

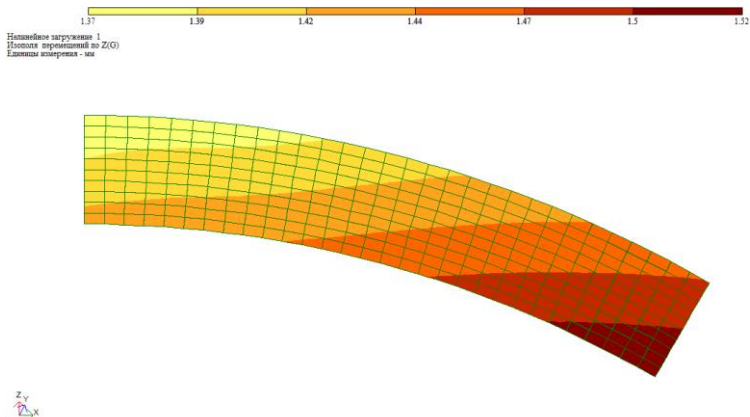


Рис. 4. Изополя перемещений в сборной обделке из сталефибробетона по оси Z

ВЫВОДЫ

Конструкция гидротехнического напорного туннеля из сборных сталефибробетонных обделок является инновационным решением на мировой арене туннелестроительства и имеет эффективность только при определенных условиях использования.

В данной работе рассмотрен подход к решению задачи по определению перемещений в швах сборной обделки гидротехнического напорного туннеля из сталефибробетона. Для расчета сборных обделок

напорного туннеля из сталефибробетона целесообразно определять физико-механические свойства сталефибробетона, используя экспериментальные исследования, учитывая таким образом фактический состав сталефибробетона, количеством фибры на основе определенного типа бетона. Учитывая сложную структуру материала, дисперсно-армированного волокном, такой способ позволяет наиболее корректно учесть особенности работы материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туннели гидротехнические: СНиП 2.06.09-84 / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. - 19 с.
2. Руководство по проектированию гидротехнических туннелей / Всесоюзный проект.-изыскат. и научно-исслед. ин-т «Гидропроект» им. С.Я. Жука. - М.: Стройиздат, 1982. - 287 с.
3. ПК Лира, версия 9.6 Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: справочно-теоретическое пособие; под ред. Академика АИН Украины А.С. Городецкого. - К.-М., 2003. - 46 с.
4. Настанова з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій: ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. - 43 с.
5. Сталефибробетонные конструкции: СП 52-104-2006. - М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. - 56 с.
6. Андрійчук О.В. Робота і розрахунок елементів кільцевого перерізу зі сталефібробетону при повторних навантаженнях: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01. - Львів, 2011. - 159 с.
7. Русанов В.Е. Обоснование конструктивных параметров сборных обделок транспортных тоннелей и метрополитенов из сталефибробетона: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01.- М., 2012. - 269 с.

Статья поступила в редакцию 27.02.2013 г.