

В работе предложена методика расчетов напряженного состояния и прочности сборных железобетонных обделок гидротехнических туннелей. Рассматривается три расчетных периода: строительный, эксплуатационный и ремонтный.

В строительный период учитываются нагрузки от собственного веса тубингов и бетона затубингового пространства, горное давление, давление цементации. Используется расчетная схема, которая представляет собой систему взаимосвязанных плоских криволинейных стержней, моделирующих тубинги. Считается, что стержни опираются на упругое основание, позволяющее учесть влияние отпора горных пород. Задача решается методом конечных элементов с использованием компьютерных программ. В результате расчетов получают усилия в стержнях и в зонах их контактов между собой. По этим усилиям оценивается прочность этих элементов.

В эксплуатационный период учитываются нагрузки от собственного веса тубингов и бетона затубингового пространства, внутреннее давление воды. Методом конечных элементов решается плоская упругопластическая задача для системы, включающей тубинги и массив горных пород. Тубинги считаются упругими элементами, а деформационные характеристики массива горных пород принимаются в соответствии с законом Мора – Кулона. По получаемым в результате расчетов напряжениям в тубингах определяются усилия в их сечениях и требуемое армирование.

В ремонтный период учитываются нагрузки от собственного веса тубингов и бетона затубингового пространства, горное давление, давление грунтовых вод. Применяется расчетная схема аналогичная той, которая использовалась при выполнении расчетов для строительного периода. Однако, при разработке такой расчетной схемы дополнительно учитывается влияние изменения геометрических размеров выработки вследствие ползучести горных пород при длительном действии внутреннего давления воды в эксплуатационный период. В результате расчетов получают усилия в элементах обделки. Эти усилия необходимы для оценки прочности таких элементов.

Предложенная методика использовалась в ПАО “Укргідропроект” при проектировании напорного деривационного туннеля Мтквари ГЭС в Грузии.

УДК 625.012.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБКИХ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ ОСЕВОМ И ВНЕЦЕНТРЕННОМ СЖАТИИ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF FLEXIBLE STEEL CONCRETE COLUMNS UNDER AXIAL AND ECCENTRICAL COMPRESSION

*д-р техн. наук. Ватуля Г.Л., канд. техн. наук. Резуненко М.Е.,
Петренко Д.Г., Рожнова М.А.*

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта (г. Харьков)

*G.L. Vatulia, Dr. Sci. Eng., M.Ye. Rezunenko, PhD (Tech.),
D.G. Petrenko, M.A. Rozhnova*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Применение сталебетонных колонн в современном строительстве наиболее рационально. Использование конструкций с внешним армированием позволяет

увеличить их жесткость и несущую способность, при уменьшении металлоёмкости, стоимости и трудозатрат при возведении.

В данный момент остаются неизученными вопросы учета устойчивости данных конструкций. Также существует неоднозначное мнение в трактовке некоторых особенностей их работы, связанных с установлением предельных состояний. Кроме того, необходимо учитывать, что на несущую способность сталебетонных конструкций влияет как однородность бетонной смеси, так и оптимальность ее состава.

Для изучения вопросов устойчивости гибких сталебетонных колонн при осевом и внецентренном сжатии были проведены экспериментальные исследования. Характеристики экспериментальных колонн: СБК–сталебетонные колонны квадратного поперечного сечения с размерами 100×100 мм, $t=2$ мм, $\sigma_y=220$ МПа; СБП–сталебетонные колонны прямоугольного поперечного сечения с размерами 150×100 мм, $t=2$ мм, $\sigma_y=220$ МПа; ТБ–трубобетонные колонны круглого поперечного сечения диаметром 102 мм, $t=3$ мм, $\sigma_y=330$ МПа.

Металлическая обойма колонн заполнялась бетоном класса С20/25. Образцы каждой серии, по 6 образцов-близнецов, имели длину 0.5 м, 1 м, 1.5 м. Эксцентриситет приложения нагрузки принимался равным 2.5 см и 5 см.

Непосредственно перед проведением испытаний сталебетонных элементов были определены предел текучести и модуль деформации материала стальной трубы, кубиковая и призмная прочность, а также начальный модуль деформации бетона конструкций.

Короткие экспериментальные образцы длиной 0.5 м испытывались в лаборатории кафедры строительной механики и гидравлики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта на испытательном прессе ПММ-125 в возрасте 60 суток. Длинные колонны длиной 1 м и 1.5 м испытывались в лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций Харьковского национального университета строительства и архитектуры на испытательном прессе ПСУ-500 и ГРМ-2А-100 в возрасте 80 суток. Шарнирное опирание и передача эксцентриситета обеспечивалось с помощью специально изготовленных ножевых шарниров. В результате испытаний были получены и проанализированы данные о деформативных характеристиках колонн с помощью тензорезисторов и глубинных датчиков.

Ранее в исследованиях было отмечено, что величины отношений средних напряжений в бетоне сталебетонной колонны к прочности неизолированного бетона зависят от размеров оболочки и ее толщины. Как отмечалось ранее, причиной повышения прочности бетона в оболочке является боковое обжатие. Бетонное ядро испытывает неравномерное напряженное состояние, изменяющееся в зависимости от отношения сторон обоймы. Наиболее нагружен бетон в зонах, непосредственно прилегающих к углам квадратного сечения и расположенных по диагоналям – здесь наибольшее боковое обжатие. По мере удаления от угловых зон и диагоналей боковое давление ослабевает.

Характерной чертой работы коротких сталебетонных элементов при внецентренном сжатии являлось появление складок и гофр в центральной части сечения по высоте. Такой характер деформирования колонн объясняется приложением нагрузки с двумя эксцентриситетами. Потеря местной устойчивости стен-

ки оболочки наблюдалась во всех сталебетонных колоннах не зависимо от формы поперечного сечения образцах. Во время экспериментального исследования коротких сталебетонных элементов, несмотря на условную гибкость ($r/h \leq 5$) отмечалось значительное влияние величины эксцентриситета на несущую способность испытываемых образцов.

С увеличением длины колонны, а соответственно и гибкости сталебетонного элемента, менялся и характер деформирования. С использованием прогибомеров бПАО и индикаторов часового типа экспериментально определялся момент общей потери устойчивости сжатого элемента. Как и при испытании коротких образцов, появление линий текучести (линии Людерса-Чернова) отмечалось только для трубобетонных элементов круглого поперечного сечения со стороны сжатых волокон. Для гибких сталебетонных элементов с постепенным увеличением эксцентриситета в процессе испытания отмечался плавный изгиб продольной оси. Визуально комбинированная конструкция работала как однородный материал. Процесс деформирования напоминал испытание пластичного элемента.

При увеличении гибкости внецентренно сжатых сталебетонных элементов значения предельных относительных деформаций сжатия бетона и стали повышаются. Увеличение эксцентриситета приложения нагрузки также приводит к росту предельных относительных деформаций. Такие результаты закономерны, так как оба отмеченных фактора увеличивают деформативность элемента.

УДК 624.075.23

РАСЧЕТ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОНН ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

THE CALCULATION OF ECCENTRICALLY COMPRESSED COLON IN THE SECOND GROUP OF LIMITING STATES

*канд. техн. наук Е.И. Галагурия, канд. техн. наук М.А. Ковалёв,
канд. техн. наук Л.Б. Кравцив, И.В. Быченко*

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта (г. Харьков)

*E.I. Galagurya, PhD (Tech.), M.A. Kovalov, PhD (Tech.),
L.B. Kravtsiv, PhD (Tech.), I.V. Bychenok*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Определению значений критической нагрузки внецентренно сжатых колонн посвятили свои работы: Ватуля Г.Л., Глазунов Ю.В., Жакин И.А, Опанасенко Е.В., Стороженко Л.И., Чихладзе Э.Д. и другие ученые. Однако в данных работах недостаточно изученная работа статически определимых, и статически неопределимых колонн, сжатых эксцентрично на одном торце и испытывающих осевое сжатие - на другом. В связи с этим в данной статье приведенные решения, которые позволяют определить значение критической нагрузки внецентренно сжатых колонн.

В статье рассмотрены следующие расчетные схемы: колонна, нагруженная по торцам продольными силами с равными и в одну сторону направленными эксцентриситетами; колонна, жестко заземленная внизу, шарнирно закреплена