

05.23.00 Строительство и архитектура

УДК 502/504 : 626/627.03.042.019.3

Д. В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

Д. А. КРУТОВ

Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования
«Газпром корпоративный институт», г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННОГО МАССИВА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АНКЕРА

В статье приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния гребня бетонной плотины Богучанской ГЭС на реке Ангаре, выполненные для обоснования несущей способности анкера. Стальной анкер запроектирован для испытания крана. Для характеристики интегральной несущей способности анкера применить простую расчетную схему (как для стержневого ненапряженного анкера) невозможно. Это связано с тем, что запроектированный анкер представляет собой сложную конструкцию со стальной плитой и косынками жесткости в основании. Для совершенствования расчетов пассивных анкерных креплений проведены исследования с использованием метода конечных элементов в трехмерной линейно-упругой постановке на статические нагрузки. Результаты исследований показали, что объем бетона, вовлеченного в работу испытанием анкера, распространяется на всю высоту анкера и представляет собой усеченный конус, боковые поверхности которого составляют угол с горизонтальной плоскостью $\approx 75^\circ$. Максимальные растягивающие вертикальные напряжения S_Y в зоне испытания анкера составили до $+7$ МПа, касательные S_{xy} – до ± 7 МПа.

Испытания козлового крана, несущая способность анкера, конечно-элементная аппроксимация анкера, сила, удерживающая анкер.

Введение. Напорный фронт гидроузла Богучанской ГЭС на р. Ангаре общей длиной 2556 м создают бетонная гравитационная плотина и каменно-набросная плотина из местных материалов. Бетонная плотина состоит из глухих, стационарных и водобросных секций.

При строительстве Богучанской ГЭС был выполнен комплекс натурных исследований и дана оценка напряженно-деформированного состояния бетонной плотины [2, 3]. Наибольший интерес для дальнейших исследований представляет напряженно-деформированное состояние гребня секций. Так, в верхней части одной из водобросных секций № 24 в пределах отметок 210...214 м проводятся испытания крана, требующие использования стального анкера.

Стальные анкеры нашли широкое применение в гидротехническом строительстве. С помощью анкерных креплений решаются самые разнообразные проблемы, связанные с устойчивостью сооружений и их оснований. Анкеровка к скальным основаниям бетонных и железобетонных конструкций позволяет существенно экономить на расходе бетона при строительстве.

Методы исследований. Несущая способность анкера зависит от качества заделки анкера в породу, прочности цементного раствора, сцепления раствора со сталью анкера и сцепления в скважине со стенками скальной породы.

В методике расчета анкеров, предложенной А. П. Тимофеевым в работе [1],

используются простые расчетные схемы (рис. 1) и формулы.

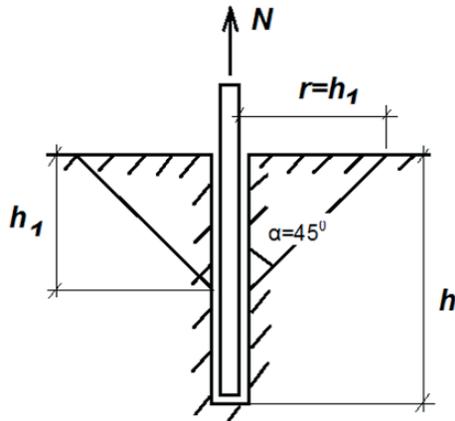


Рис. 1. Схема к расчету стержневого анкера: h — это глубина скважины; $h_1 = (0,7...0,4)h$

Усилие в анкере N определяется по формуле:

$$N \gamma_{ca} = (\gamma_n \gamma_{lc} / \gamma_c F_{от} - G), \quad (1)$$

где γ_{ca} — обобщенный коэффициент условий работы анкера; $F_{от}$ — отрывающая нагрузка; G — вес рассматриваемой конструкции; γ_n — коэффициент надежности; γ_{lc} — коэффициент сочетания нагрузок; γ_c — коэффициент условий работы.

В рассматриваемом случае весом самого анкера можно пренебречь, то есть $G = 0$ в формуле (1). Прочность заделки должна соответствовать условию:

$$N \leq R_v + P_v \quad (2)$$

где R_v — сила сцепления по поверхности конуса выпора; P_v — вес конуса выпора.

Расчетная схема, представленная на рисунке 1, применяется для конструкции стержневых ненапряженных анкеров и не подходит для более сложных анкерных конструкций. На рисунке 2 представлена конечно-элементная аппроксимация анкера, предназначенного для испытания козлового крана. Анкер устраивается путем омоноличивания в окружающем бетоне. Для уточнения расчетной схемы были проведены исследования на основе метода конечных элементов в трехмерной линейно-упругой постановке на статические нагрузки. Исследования проводились для секции № 24, при этом воспроизводимая модель ограничивалась двумя вертикальными плоскостями, проходящими через межсекционные швы сооружения (рисунок 3).

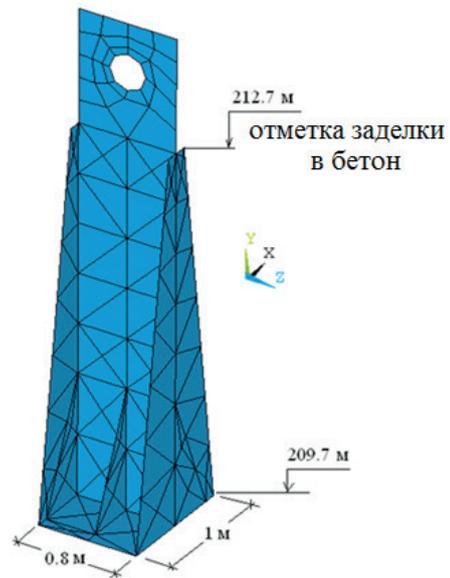


Рис. 2. Конечно-элементная аппроксимация анкера

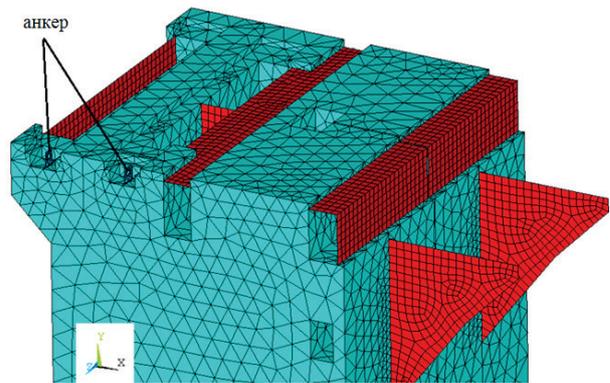


Рис. 3. Гребень секции № 24 плотины Богучанской ГЭС с анкерами для испытания козлового крана

Нагрузка при испытании крана составила 625 тс. Расчетный модуль упругости бетона принят равным 30000 МПа.

Результаты исследований. Очевидно, что конус выпора для испытываемого анкера не будет соответствовать конусу выпора, представленному на рисунке 1. Как и ожидалось, плита в основании анкера с косынками жесткости вовлекла в работу бетон по всей высоте анкера. Результаты расчетов показаны на рисунке 4.

Из рисунка 4 следует, что объем бетона, вовлеченного в работу испытанием анкера, распространяется на всю высоту анкера (3 м) и представляет собой усеченный конус, боковые поверхности которого составляют угол с горизонтальной плоскостью $\approx 75^\circ$.

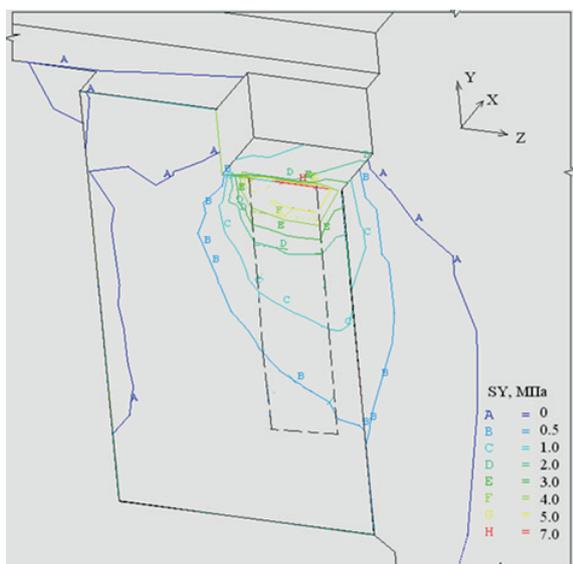


Рис. 4. Изолинии нормальных вертикальных напряжений S_Y (в МПа), при испытании крана

За критерий образования конуса выпора с определенной условностью принята изолиния растягивающих нормальных вертикальных напряжений 0,5 МПа (класс бетона по прочности В20). Нижним основанием конуса является плита анкера 0,8x1,0 м, верхним – дно ниши.

Максимальные растягивающие вертикальные напряжения S_Y в зоне испытания анкера составляют до +7 МПа, касательные S_{xy} – до ± 7 МПа.

Вес бетона внутри конуса оказался равен 19,4 тс, сопротивление бетона срезу-отрыву по боковой поверхности конуса 1576,8 тс. Сила, удерживающая анкер, равна $1576,8 + 19,4 = 1596,2$ тс. Коэффициент запаса составил 2,27.

Выводы

Выполненный расчет характеризует интегральную несущую способность анкера. Поскольку нормальные и касательные напряжения в бетоне вблизи анкера значительные и превосходят прочность бетона на растяжение в локальной зоне установки анкера, рекомендуется армирование объема бетона вокруг анкера горизонталь-

ными и вертикальными сетками.

Объем конуса выпора для конструкции анкера с опорной плитой и косынками жесткости распространяется на всю высоту анкера и представляет собой усеченный конус, боковые поверхности которого составляют угол с горизонтальной плоскостью $\approx 75^\circ$.

Необходимо совершенствовать методы расчета пассивных анкерных креплений, а также конструкции анкеров с целью обеспечения их взаимодействия с анкеруемыми массивами для обеспечения эффективной совместной работы.

Библиографический список

1. Тимофеев А. П. К вопросу анкерования бетонных конструкций. // Гидротехническое строительство. – 1962. – № 1. – С. 27 – 30.
2. Козлов Д. В., Крутов Д. А. Анализ собственных деформаций бетона по данным натурных наблюдений на плотине Богучанского гидроузла. // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 1. – С. 31–36.
3. Козлов Д. В., Крутов Д. А. Оценка состояния бетонной плотины Богучанской ГЭС по данным натурных наблюдений за свободными деформациями. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 3. – С. 14–16.

Материал поступил в редакцию 04.02.2016.

Сведения об авторах

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, проректор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550 г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19.; Тел.: 8(499)-976-29-62, e-mail: kozlovdv@mail.ru.

Крутов Денис Анатольевич, кандидат технических наук, преподаватель корпоративного института ОАО «Газпром»; 117997, Москва, ул. ул. Прянишникова, д. 19.; Тел.: 8(499)-976-29-62, e-mail: kozlovdv@mail.ru.

D. V. KOZLOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

D. A. KRUTOV

The private educational institution of the additional vocational education
«Gazprom corporate institute», Moscow

INVESTIGATIONS OF THE MODE OF DEFORMATION OF THE CONCRETE BLOCK FOR SUBSTANTIATION OF THE ANCHOR CARRYING CAPACITY

In the article there are given results of calculations of the mode of deformation of the concrete dam crest of Boguchany HPS on the Angara river required for substantiation of anchor carrying capacity. The steel anchor was designed for the crane tests. It is not possible to apply a simple design scheme (as for a threaded slack anchor) for the characteristics of the anchor integral bearing capacity. It is connected with the fact that the designed anchor is a complicated structure with a steel plate and stiffness gussets in the base. For improvement of calculations of passive anchor fastenings there were carried our investigations using a method of finite elements in a three-dimensional linearly - elastic arrangement on static loadings. The results of researches showed that the volume of the concrete involved in the work by the anchor testing spreads on the all anchor height and represents a truncated cone with side surfaces making an angle with the horizontal plane $\approx 75^\circ$. The maximum stretching vertical tensions SY in the zone of the anchor testing were up to +7 MPa, tangent Sxy – to ± 7 MPa.

Tests of gantry crane, anchor carrying capacity, anchor finite-element approximation, anchor holding force.

References

1. Timifeev A. P. K voprosu ankerovaniya betonnyh constructsij. // Hydrotehnicheskoye stroiteljstvo. – 1962. – № 1. – S. 27 – 30.
2. Kozlov D. V., Krutov D. A. Analiz sobstvennyh deformatsij betona po dannym naturnyh nablyudenij na plotline Boguchanskogo hydrouzla // Hydrotehnicheskoye stroiteljstvo. – 2005. – № 1. – S. 31–36.
3. Kozlov D. V., Krutov D. A. Otsenka sostoyaniya betonnoj plotiny Boguchanskoj GES po dannym naturnyh nablyudenij za svobodnymi deformatsiyami //

Melioratsiya I vodnoye hozyaistvo. – 2005. – № 3. – S. 14–16.

Received on 04.02.2016.

Information about the authors

Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich, doctor of technical sciences, professor of RSAU – MAA named after C.A. Timiryazev, 127550 Moscow, ul. Pryanishnikova, 19.; Tel.: 8(499)-976-29-62, e-mail: kozlovdv@mail.ru

Krutov Denis Anatoljevich, candidate of technical sciences, lecturer of the corporate institute OAO «Gazprom»; 117997, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19, tel.: 8(499)-976-29-62.