

РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОГО СВОДА НА НЕПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ

Старовойтов С.А.

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, г. Гродно

Введение. Современные математические модели поведения материалов и алгоритмы конечно-элементного анализа позволяют решать множество задач строительного профиля. Однако дальнейшее уточнение методов формирования уравнений строительной механики не приводит к качественному изменению подходов к проектированию. С другой стороны, наблюдается внедрение в конечно-элементные модели алгоритмов проектирования, разрабатываются новые подходы к формулировкам и решению задач исследования напряженно-деформированного состояния. Одним из методов проверки численных решений задач строительной механики является получение аналитических решений.

В работе рассматривается аналитический метод определения параметров напряженно-деформированного состояния несимметричного свода под действием распределенной нагрузки.

Методика расчета. Подбор материала и основных геометрических параметров свода осуществляется на основе расчета перемещений с последующей проверкой условий прочности.

Расчетную схему свода (рисунок 1) можно представить в виде системы арок 1 с максимальным расстоянием 5 от горизонтальной поверхности 2. К внешней поверхности арки приложена распределенная нагрузка $q(x, z)$.

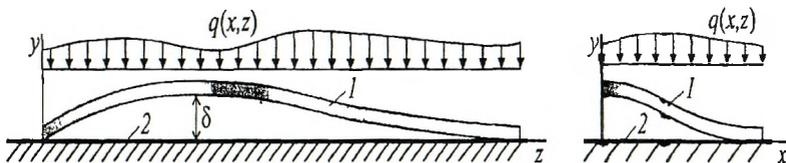


Рисунок 1 – Расчетная схема несимметричного свода

Для определения перемещений рассматриваемого свода используется аппроксимация континуальной области дискретной системой криволинейных стержней: свод разделен продольными плоскостями (параллельными yz) на криволинейные элементы шириной b (рис. 2), каждый из которых представляет собой несимметричную арку. Ее работа описывается при помощи геометрической модели: принимается гипотеза плоских сечений Бернулли, материал — несжимаемым в направлении нормали к оси арки. Геометрическое место центров тяжести поперечных сечений образует ось арки, перемещение этих точек по вертикали является прогибом.

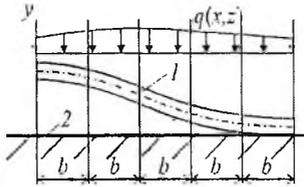


Рисунок 2 – Дискретизация свода по ширине

Внешняя нагрузка представлена в виде численно заданной функции $q(x, z, t)$, изменяющейся во времени. Чтобы избежать двумерной аппроксимации $q(x, z)$ для отыскания аналитического выражения $q(x, z)$, свод разделен в направлении оси x на участки, в пределах каждого из них нагрузка усредняется и заменяется эквивалентной квазистатической равномерно распределенной вдоль оси z . Условием эквивалентности является равенство максимальных перемещений при действии каждой из нагрузок:

$$y_{\max} = y_{\text{equiv}} \quad (1)$$

Перемещения определяются методом единичной нагрузки с учетом внутренних изгибающих моментов и поперечных сил. Ввиду малых перемещений нагружается консольная балка, а не арка. Прогиб достигает максимального значения на конце консоли. Прикладывая в этом сечении вертикальную единичную силу, получим функции внутренних единичных усилий:

$$\bar{M}_x = -x; \quad \bar{Q} = -1. \quad (2)$$

Построив функцию M и Q от внешней нагрузки, при помощи формулы Максвелла-Мора найдем перемещение y_{\max} .

Рассматривая действие q_{equiv} , вычислим перемещение y_{equiv} :

$$y_{\text{equiv}} = \frac{q_{\text{equiv}} l^4}{8EJ_x} + \eta \frac{q_{\text{equiv}} l^3}{GA}. \quad (3)$$

Тогда с учетом (3) уравнение (1) разрешается относительно q_{equiv} и в дальнейшем внешняя нагрузка заменена эквивалентной равномерно распределенной. Повторяя такую аппроксимацию для всех участков по ширине, получим набор дискретных нагрузок, действующих на поверхность свода.

Таким же образом осредняется нагрузка в направлении оси z , но для определения y_{equiv} используется однопролетная шарнирно закрепленная балка.

Для определения внутренних усилий, перемещений и напряжений рассматривается вырезанная двумя продольными сечениями арка с затяжкой, моделирующей дополнительные горизонтальные связи. Расчет проводится методом сил. В качестве неизвестной принимается усилие в затяжке. Каноническое уравнение имеет вид:

$$(\delta_{11} + l / (E_{\text{зам}} A_{\text{зам}})) X_1 + \Delta_{1p} = 0. \quad (4)$$

Единичное δ_{11} и грузовое Δ_{1p} перемещения определены при помощи формулы Максвелла-Мора, а внутренние усилия и перемещения – принципа независимости действия сил с учетом (4).

Конечные прогибы могут быть получены методом последовательных приближений. Решение линейной задачи о деформировании арки принимается за первую итерацию. На втором шаге определяется новое положение оси арки коррекцией ее ординат с учетом упругих перемещений, после чего повторяется расчет по предыдущему алгоритму. Сходимость решения оценивается по кубической норме.

Материал несущей части стельки проявляет упругие свойства. Однако процесс деформирования описывается нелинейным законом. Введем функцию физической нелинейности $\varphi(\varepsilon_{ni})$ в закон Гука:

$$s_{ij} = 2G(1 - \varphi(\varepsilon_{ni}))\varepsilon_{ij}; \quad \sigma = 3K_\varepsilon \quad (i, j = x, z) \quad (5)$$

Выделив в напряжениях и внутренних усилиях линейную и нелинейную составляющие, введем в них функцию $\varphi(\varepsilon_{ni})$ в соответствии с (5). Основные соотношения и процедура определения внутренних усилий не изменятся, но в уравнения равновесия войдут нелинейные добавки, которые определяются посредством численного интегрирования.

Для учета подкрепления свода в расчетную схему вводится система податливых опор. Тогда, разделив арку на малые участки по длине, получим систему криволинейных однопролетных стержней. Для определения перемещения используется точное дифференциальное уравнение упругой линии балки, в которое внесен первоначальный радиус кривизны арки ρ_0 (являющийся в общем случае функцией от z):

$$\frac{w'''}{(1 + (w')^2)^{3/2}} + \frac{w}{\rho_0} = \frac{M(z)}{\int y^2 \int E(x, y, z) dx dy} \quad (6)$$

Уравнение (6) разрешается методом прямого интегрирования:

$$w = \int \frac{-z + rA + C_1}{\sqrt{-z^2 - 2rAz + 2C_1z - r^2(A^2 - 2rAC_1 - C_1^2 + r^2)}} dz + C_2,$$

где $A = \int \frac{M(z)}{\int y^2 \int E(x, y, z) dx dy}$.

Заметим, что константа интегрирования C_1 входит не линейно, а содержится в подынтегральном выражении.

Для определения C_1, C_2 стержень разбивается на участки i , используя граничные условия каждого i -го участка

$$M_{i-1}^{нес} = M_i^{прас}; \quad Q_{i-1}^{нес} - Q_i^{прас} = kR_i / n;$$

$$w_{i-1}^{нес} = w_i^{прас} = kR_i / n; \quad (w_{i-1}^{нес})' = (w_i^{прас})'$$

получим систему уравнений для определения двух констант интегрирования на каждом участке.

Таким образом, в работе получены основные соотношения для описания параметров напряженно-деформированного состояния несимметричного свода под действием распределенной нагрузки, приводятся рекомендации по выбору формы срединной поверхности.

Список цитированных источников

1. Тимошенко С. П., Гере Дж. М. Механика материалов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2002. – 672 с.
2. Старовойтов С.А. Изгиб стрелы произвольного поперечного сечения, имеющего начальную кривизну / Старовойтов С. А. // Материалы XIII международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А. Г.Горшкова. / Москва, 12–16 февраля 2007 г. – М., 2007. – С. 232.

УДК 628.292.002.2:303.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GSM ТЕЛЕМЕТРИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Боровиков Д.В., Грицук А.И.
ООО «МАМТ», г. Минск

Введение. Быстрое повсеместное развитие сотовых сетей стандарта GSM открывает новые возможности для решения задач сбора информации о работе различного оборудования, применяемого в ЖКХ, и дистанционного управления им по каналам сотовой связи. Особенностью такого оборудования является то, что оно распределено по большой территории, имеет много узлов, где необходим контроль, и часто работает без постоянного надзора. Примером служат насосные станции систем водоотведения, которые представляют собой комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий водоотведение стоков в соответствии с нуждами потребителя. Рассматриваемая в статье автоматизированная система управления предназначена для автоматизации процесса сбора и обработки информации о работе КНС "Форты" (г. Гродно).

КНС "Форты" введена в эксплуатацию в 1974 году. По расположению в общей схеме системы водоотведения насосная станция КНС "Форты" является районной, основной функцией работы которой является сбор стоков микрорайона "Форты" и перекачка их на ГОСК [1]. Основной целью при автоматизации данной станции является разработка АСУ ТП для контроля, управления и сбора информации без участия в процессе человека. При разработке АСУ ТП предъявляются требования по экономичности и надежности.

Задачи. Исходя из целей, разработка АСУ ТП для КНС "Форты" включает в себя ряд задач:

1. Автоматический контроль и управление технологическим процессом работы КНС путем поддержания в заданных пределах уровня в приемном резервуаре.