

3. Данная аналитическая модель позволяет определять связанные относительные деформации расширения при различных коэффициентах армирования в двух направлениях и их произвольном размещении в сечении элемента, начиная с первых суток твердения до момента стабилизации процесса расширения. По полученным значениям деформаций определяются значения напряжений в ограничивающих связях, что в свою очередь имеет важное практическое значение.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетонные и железобетонные конструкции из напрягающего бетона: ТКП 45-5.03-158-2009/ Министерство архитектуры и строительства РБ. – Мн.: Минстройархитектуры, 2010. – 28 с.
2. Литвер, С.Л. Самонапряжение при двухосном ограничении деформаций расширения / С.Л. Литвер, А.И. Петухов // Исследования и применение напрягающего бетона и самонапряженных конструкций: сб. тр. / НИИЖБ; под науч. ред. В.В. Михайлова. – Москва, 1984. – С. 67–68.
3. Михайлов, В.В. Плоские самонапряженные конструкции / В.В. Михайлов, В.С. Гергивальд // Исследования и применение

напрягающего бетона и самонапряженных конструкций: сб. тр. / НИИЖБ; под науч. ред. В.В. Михайлова. – Москва, 1984. – С. 62–67.

4. Марчук, В.А. Деформации и собственные напряжения несимметрично двухосно армированных плоских элементов из напрягающего бетона на стадии его расширения: дис. ... канд. техн. наук 05.23.01 / В.А. Марчук. – Брест, 2002. – 176 с.
5. Early Age Deformation and Resultant Induced Stress in Expansive High Strength Concrete / I. Hidetoshi [et. al]. – Journal of Advanced Concrete Technology, 2004. – Vol. 2, № 2. – P. 155–174.
6. Тур, В.В. Модель, применяемая для расчета связанных деформаций и самонапряжений в элементах из напрягающего бетона / В.В. Тур, О.С. Семенюк (в настоящем сборнике).
7. Тур, В.В. Самонапряженные бетонные элементы, армированные стержнями из полимерного композита / В.В. Тур, О.С. Семенюк // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. статей. – Брест: БрГТУ, 2014. – С. 274–287.
8. Бетоны напрягающие. Технические условия: СТБ 2101 – 2010. – Введ. 28.07.2010. – Минск: РУП “Стройтехнорм”, 2010. – 19 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.16

TUR V.V., KONDRATSIK A.A., SANNIKOVA O.G. Determination of parameters of the intense deformed condition of flat self-intense elements at a curing stage

The calculation model for evaluating stress-strain relationship of plane self-stressing elements at hardening stage is proposed. The test results of the plate specimens at hardening stage are presented. The comparative analysis of test and calculated values of stress-strain parameters is given.

УДК 624.04

Борисевич А.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЩИХ УРАВНЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Вопросам теории расчета предварительно напряженных конструкций, экспериментальным исследованиям, конструированию и технологии изготовления, оптимального проектирования их посвящена обширная литература. В настоящей работе внимание исследователей обращается на достоинства расчета и оптимизации предварительно напряженных конструкций с помощью общих уравнений строительной механики [1], позволяющих получить функциональные зависимости для переменных проектирования и переменных состояния конструкции. Исследования напряженного и деформированного состояний конструкций с их помощью оказываются более глубокими. Кроме того, эти зависимости способствуют формированию ограничений в задачах оптимизации.

Конструктивные решения предварительно напрягаемых несущих систем и траектории расположения на них гибких затяжек могут быть различными, однако принципиальный подход к расчету их и поиску оптимальных проектов остается общим. Рассмотрим его на примере фермы с гибкой затяжкой, определение усилий в которой можно выполнять с использованием различных расчетных схем.

По первой из них траектория затяжки проходит по заранее намеченным узлам фермы и, в частном случае (наиболее распространенном), на расчетной схеме (рис. 1) она “сливается” (совмещается) со стержнями, соединяющими эти узлы.

Рассмотрим сначала вариант расчетной схемы с затяжкой без предварительного натяжения ее, т.е. считаем, что она устанавливается на конструкцию, не нагруженную внешними силами. Матрицу жесткости такой системы получим суммированием двух матриц. Одна из них составляется для системы без затяжки (обозначим ее R_0), а вторая ($R_{зам}$) – для затяжки с жесткостью $EA_{зам}$. Формирование обеих матриц выполняется с помощью общих уравнений строительной механики.

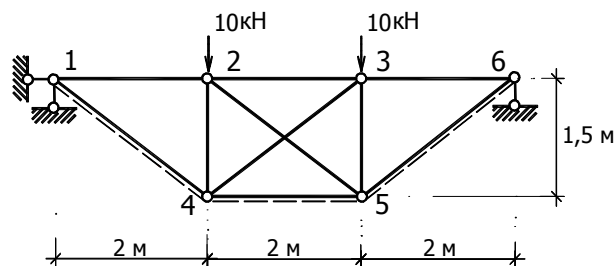


Рис. 1. Расчетная схема фермы с затяжкой

При особых положениях затяжки в конструкции теоретически в ней могут возникнуть сжимающие усилия, которые она воспринимать не может. Проверить знак усилия в затяжке при известных перемещениях узлов можно с помощью матрицы внутренней жесткости затяжки. Некоторые результаты вычислений покажем на примере показанной расчетной схемы. Площади стержней 1–2, 2–3, 3–6 приняты равными $A_1 = 9.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, всех остальных – $A_2 = 4.8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; модуль упругости $E = 2.1 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2$. Жесткость затяжки – $EA_{зам}$. В узлах 2 и 3 приложены силы $F = 10 \text{ кН}$.

Распределение усилий по стержням фермы зависит, естественно, от жесткости затяжки. С помощью общих уравнений можно решить задачу об определении такой жесткости гибкой затяжки, при которой перемещение какого-либо узла или усилие в стержне будет равно заранее заданному значению (в возможных интервалах его изменения для исследуемой системы). Например, получив в сим-

Борисевич Арсений Александрович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой строительной механики Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Независимости, 65.

вольном виде выражение для определения вертикального перемещения узла 4, что возможно с помощью общих уравнений, и ограничивая его значением $Z_4^{perm} = 10^{-4} \text{ м}$, получим требуемую жесткость затяжки равной $EA_{зам} = 3.91667 \cdot 10^{13} \text{ кН}$.

Естественно, что с уменьшением (по модулю) допускаемого перемещения жесткость затяжки возрастает (рис. 2).

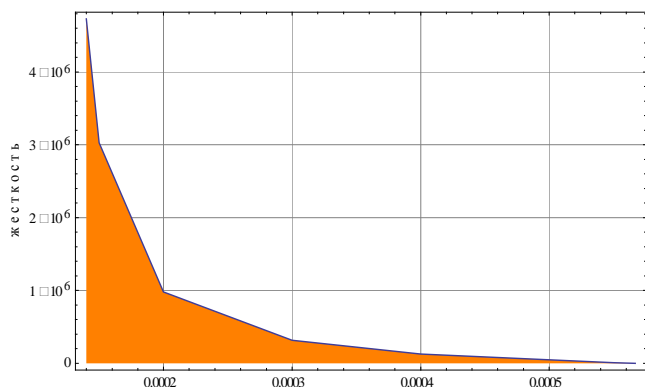


Рис. 2. Зависимость перемещения Z_4^{perm} от $EA_{зам}$

В действительности траектория затяжки не проходит через центры узлов конструкции, а располагается по конструктивным соображениям на некотором расстоянии от них (рис. 3). Если предположить, что передача давлений от затяжки на узлы осуществляется через прокладки (примем расстояние от центра узла до оси затяжки равным 0.1 м), то распределение усилий по стержням фермы окажется несколько отличным от первого варианта. В целом, по всем стержням усилия окажутся меньшими (по модулю), что соответствует общим правилам механики. Сумма усилий по стержням, соответствующим траектории затяжки, с усилиями в затяжке будет меньше усилий, получаемых из расчета фермы с затяжкой, проходящей через центры узлов.

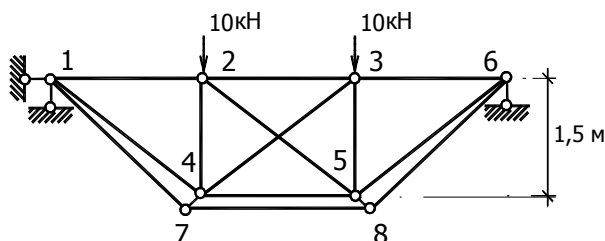


Рис. 3. Расчетная схема фермы со смещенной затяжкой

В этом случае нет симметрии по перемещениям (вертикальным) узлов. Причиной этого является подвижность правого опорного узла по горизонтали.

Сравним, например, распределение усилий в стержне 1–4 по двум вариантам расчетных схем (затяжка проходит через узлы и, по второму варианту, затяжка располагается на расстоянии 0.1 м от узлов) при жесткости затяжки $EA_{зам} = 1.25741 \cdot 10^5 \text{ кН}$. В первом случае усилие в стержне равно 10.266 кН , в затяжке – 6.403 кН , сумма равна 16.669 кН , во втором случае усилие в стержне равно 9.977 кН , в затяжке – 6.356 кН , сумма равна 16.333 кН . Вертикальное перемещение узла 4 равно 10^{-4} м .

Рассмотрим особенности расчета фермы с предварительно натянутой затяжкой. Задать на расчетной схеме нагрузку от усилий предварительного натяжения затяжки можно несколькими способами.

По одному из них в узлах, на которых гибкая затяжка меняет направления (имеет изломы), следует дополнительно к внешней нагрузке приложить нагрузку в виде двух разнонаправленных сил,

равных начальному усилию натяжения. Конечное усилие в затяжке, вызываемое совокупностью начальных сил, можно получить с помощью общих уравнений в символьном виде при определении жесткости затяжки через переменную $EA_{зам}$. Аналогично ранее изложенному способу можно найти то усилие предварительного натяжения, которое требуется для обеспечения допустимого перемещения какого-либо узла или допустимого усилия в элементе исследуемой конструкции.

Второй способ. В математической модели задачи расчета фермы с предварительно напряженной затяжкой уравнение для определения узловых перемещений следует записать в виде:

$$R_0 \cdot \vec{Z} = \vec{F} + A \cdot K \cdot \vec{\Delta}_{зам},$$

где A – матрица равновесия фермы; K – матрица внутренней жесткости фермы;

$\vec{\Delta}_{зам}$ – вектор деформаций стержней, относящихся к затяжке (соответствует усилиям предварительного натяжения).

Для плоских стержневых систем, в элементах которых возникают все виды внутренних усилий, матрица жесткости также образуется суммированием матриц для системы без затяжки (R_0) и для затяжки ($R_{зам}$).

Рассмотрим возможные подходы к поиску оптимальных решений в задачах оптимизации. Функции узловых перемещений или усилий в стержнях при трех и более переменных проектирования, получаемые с помощью общих уравнений, являются сложными, нелинейными. Найти их можно с помощью современных систем компьютерной математики. Использовать эти функции в качестве ограничений в задачах нелинейного программирования для реальных конструктивных систем практически невозможно. При меньшем числе переменных решение возможно.

Например, с помощью системы Mathematica можно для исходной геометрии фермы (рис. 1) получить решение задачи математического программирования с нелинейными ограничениями при двух переменных. К первой переменной отнесем площади стержней верхнего пояса фермы, ко второй – всех остальных. Ограничив вертикальное перемещение узла 4 значением 10^{-4} м и напряжение по стержню с наибольшим усилием значением 200 МПа, получим оптимальные площади сечений стержней следующими: $A_1 = 19.6723 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, $A_2 = 17.4325 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Активным является ограничение на перемещение узла.

Более простой будет задача о поиске оптимального решения при известном соотношении жесткостных характеристик всех элементов исследуемой системы.

При известных геометрических характеристиках стержней и механических свойствах материала можно найти такую жесткость затяжки, при которой перемещение какого-либо узла или усилие в стержне будет равно заданному значению (в возможных интервалах существования их). Задача сводится к решению одного нелинейного уравнения.

С помощью общих уравнений и систем компьютерной математики можно решить и другие оптимизационные задачи. В частности, практичной может оказаться постановка задачи о поиске такой конструкции минимальной стоимости, в которой за переменные рекомендуется принять жесткость затяжки и соотношение жесткостей стержней.

Заключение. Использование в расчетах конструкций общих уравнений строительной механики в сочетании с системами компьютерной математики позволяет получить в символьном виде выражения для отдельных переменных состояния или переменных проектирования, что существенно облегчает проведение анализа ее напряженного и деформированного состояний, а также оптимального проектирования.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие для вузов / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Минск: БНТУ, 2009. – 756 с.

Материал поступил в редакцию 17.03.16

For calculation and optimization of structures, reinforced flexible bongs are invited to use the General equations of structural mechanics that allows to obtain expressions for the state variables in symbolic form. With their help, for the active state variables solves the problem of finding the optimal project investigated system.

УДК 693.98

Пенязь М.А., Поздняков Д.А.

ПРИМЕНЕНИЕ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОНОЛИТНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

История строительства из железобетона теснейшим образом связана со свойствами используемого материала. Развитие технологии производства железобетона представляет, с одной стороны, реализацию основного его преимущества - воспроизведения практически любых объемно-планировочных решений и, с другой, борьбу с главным недостатком – высокой трудоемкостью изготовления изделий. Поскольку указанное противоречие относится к свойствам материала, т.е. имеет фундаментальный характер, до настоящего времени не удалось создать единую технологическую систему, которая соответствовала бы достаточно широкому спектру объемно-планировочных решений, обеспечивая в то же время снижение трудоемкости без существенного роста затрат.

По этой причине уже достаточно давно начали формироваться две технологические системы - монолитного (ориентация на разнообразие решений) и сборного (ориентация на снижение трудоемкости) строительства. Каждая из них характеризуется специфическими техническими решениями и организационными формами, а также определенным местом в строительной отрасли.

В бывшем СССР и других социалистических странах с плановой экономикой, жилищным строительством по социальным нормам, административно-командным управлением для сборного строительства сложились наиболее благоприятные условия. Это привело к формированию высокоорганизованных и хорошо исследованных технологических систем.

С течением времени концепция сборного строительства стала рассматриваться как основная для строительства в целом, а ее особенности послужили отправным пунктом теоретических обобщений, технологических разработок, методов проектирования, организации производственных структур. Классические работы М.С. Будникова [1], А.А. Гусакова [2, 3], А.А. Жукова [4], Э.К. Завадскаса [5, 6], В.И. Рыбальского [7], В.И. Торкатюка [8], Е.В. Федосовой [9], Р.И. Фокова [10, 11], В.К. Черненко [12, 13], С.А. Ушацкого [14, 15], А.К. Шрейбера [16] и др. развивались именно в этом русле. Индустриализация сборного строительства позволила в кратчайшие сроки организовать в 60-е годы массовое жилищное строительство - достижение, признанное во всем мире.

Отечественная домостроительная индустрия последовательно осваивала технологии блочного, крупноблочного, панельного, крупнопанельного, объемно-блочного строительства жилых домов в различных комбинациях и вариациях. Эти технологии прекрасно себя зарекомендовали и постоянно совершенствовались с использованием новых прогрессивных материалов и до настоящего времени являются доминирующими в индустриальном домостроении [17]. Однако при всей своей экономической рациональности эти технологии существенно ограничивают творческие возможности архитекторов и проектировщиков по внешнему виду и планировке зданий.

В условиях, когда государственная политика, основанная на бюджетном финансировании, распорядительных функциях и соблюдении жестких правил, была фактически направлена на обеспечение протекания процесса строительства как такового, образовались крупные территориальные монополии. Обеспечивая массовость «типового» строительства, они характеризовались большой инерци-

ей в технологическом отношении и пассивностью в организационной и финансовой деятельности. При такой организации отрасли способность монолитных технологий удовлетворять разнообразным объемно-планировочным решениям оказалась невостребованной. Их ниша вполне характеризовалась условием невозможности применения сборного железобетона. Так, основной объем монолитного строительства определялся преимущественно потребностями возведения конструкций подземных частей зданий и сооружений и фундаментов под технологическое оборудование [19, 20, 21].

С введением в управление хозяйственного расчета, а в экономику – первых элементов рынка, к существующим проблемам традиционных технологий строительства добавились высокая энергоемкость технологий в производстве, их инерционность на запросы рынка, высокие эксплуатационные затраты на содержание домов, новые требования к архитектурно-планировочным решениям. Отметим, что на 25–30 лет ранее с похожими проблемами столкнулась Франция, там выход нашли в переориентации индустрии домостроения с панельной технологии на каркасную, которая к началу 90-х годов XX века в конкурентной борьбе индустриальных строительных технологий постепенно начала завоевывать лидирующие позиции. В этой технологии прельщала компактность технологического оборудования по выпуску элементов каркаса, простота их наладки и переналадки под различные модификации элементов каркаса, что давало возможность значительно разнообразить архитектурно-проектные решения зданий.

Применение каркаса позволяет реализовать принцип гибкой планировки квартир и других помещений в жилых домах различной этажности, различной комфортности и различного архитектурного решения фасадов. Строительство жилых зданий на основе различных конструктивных систем показало неоспоримые преимущества каркаса, позволяющего обеспечить гибкость объемно-планировочных решений квартир, блок-секций и жилых домов в целом.

В республике Беларусь, за последнее 20 лет построено множество жилых домов различной этажности, комфортности и архитектуры. Практика проектирования и строительства этих домов базировалась как на сборном каркасе (на базе серии 1.020 с модификациями), так и на каркасе из монолитного железобетона, что позволило выявить преимущества и недостатки при массовом жилищном строительстве каждой из конструктивных систем.

В Республике Беларусь основу каркасного домостроения составляют конструкции из монолитного железобетона, вместе с тем опыт проектирования и возведения каркасных зданий из сборного железобетона имеет свои преимущества перед монолитным каркасом. Практика проектирования жилых зданий с применением сборного каркаса опиралась на опыт серии 1.020 с модификациями. Каркас серии 1.020 был разработан не для строительства жилых зданий. Он трудоёмок при монтаже, что связано с использованием большой номенклатуры изделий, количества несущих столиков и сварных соединений узлов, а при устройстве балконов необходимо монтировать дополнительные колонны и другие элементы. Со временем данный каркас был модернизирован и адаптирован под жилые здания.

Пенязь Михаил Арсеньевич, директор УКП «БобруйскПРОЕКТ».

Беларусь, 213828, Могилевская обл., г. Бобруйск, ул. М. Горького, 38/а.

Поздняков Дмитрий Александрович, заведующий отделом ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.».

Беларусь, 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 15-405.