

[11I10&og=%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F+%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%BA%D0%B0++&aq=f&aqi=g10&oi=image_result_group&sa=X&q=%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%B%D1%83%D0%B1%D0%BA%D0%B0&tbm=isch](#)

9. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования») / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР.– М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 152 с.

10. Каменная кладка - как несъемная опалубка в монолитном домостроении : научное издание / В.Н. Мукосеев, А. М. Бричко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Будівництво". Вип. 9(13), 2009 : Науково-методичний журнал / Сумський національний аграрний університет. - Суми : СНАУ, 2009. - С. 86-90.

УДК 624.65.012I4.0I6.042.072.2

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТНОЙ БАЛКИ ПОДДЕЙСТВИЕМ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Мукосеев В.Н., Мукосеев Н.В.

В комплексных стено-балочных системах из сборных железобетонных балок и опирающихся на них стен в процессе выполнения кирпичной кладки формируется напряженно-деформированное состояние, существенно влияющее на характер и величины напряжений комплексной конструкции в предельных состояниях 1 и 2 групп. В статье приводится методика численного моделирования деформирования типовой железобетонной балки при увлажнении верхней грани балки в процессе экспериментальных исследований.

Постановка проблемы в общем виде. Совместная работа каменной кладки стен с поддерживающими ее изгибаемыми элементами (рандбалки и перемычки) характеризуется тем, что над опорами балок и в контактном растворе шве в середине пролета балок возникают сквозные трещины, которые увеличивают теплопотери и ухудшают эстетический вид строительного объекта. Решение этой проблемы возможно путем исследования формирования внутренних напряжений и деформаций в сечениях конструктивных элементов, составляющих композитную стено-балочную систему с момента монтажа балки и начала выполнения кладки стен до приложения разрушающей нагрузки и потери несущей способности системы. Одним из факторов, влияющих на общее напряженно-деформированное состояние и несущую способность стено-балочной системы в целом, является технологическое увлажнение верхней грани балки свежеложенным цементнопесчаным раствором.

Анализ последних достижений и публикаций. В работах, представленных в библиографии [1,2], приведены результаты экспериментально-теоретических исследований стено-балочных систем. В работе [2] отмечалась необходимость учета объемных деформаций набухания и усадки бетона балки и кладки, что действующими нормами проектирования не предусмотрено (п.3.26 СНиП II-22-81*). Напряжения, которые формируются в процессе производства работ по возведению стен и при дальнейшей эксплуатации конструкций в результате реакции материалов конструкций на изменение окружающей среды (изменение влажности и температуры) могут привести к преждевременному образованию трещин в

каменной кладке и поддерживающих балках. Современные достижения в численном моделировании работы строительных конструкций [3] дают возможность моделировать работу стено-балочных систем с учетом многофакторных воздействий на стено-балочные системы, нелинейного деформирования материалов в процессе возведения (конструктивной нелинейности), загрузки нагрузками от эксплуатационных значений до предельных. Для численного моделирования жизненного цикла стено-балочной системы необходимо обеспечение подобности расчетных и экспериментальных моделей. Отсутствие регламентирующих стандартных правил проведения численных экспериментов влечет за собой субъективную оценку работы строительных конструкций при решении практических задач, которые не подкреплены натурными физическими экспериментами, проведенными в соответствии с действующими государственными стандартами, нормами и правилами. Учитывая необходимость дифференцированного анализа влияния различных факторов на наступление предельных состояний в стено-балочных конструкциях, при численном исследовании целесообразно тестирование принимаемых конечно-элементных моделей с сопоставлением полученных результатов с экспериментальными данными. В этой связи актуальным является разработка методики численного моделирования процесса деформирования железобетонных балок при технологическом увлажнении.

Для численного моделирования жизненного цикла стено-балочной системы необходимо обеспечение подобности расчетных и экспериментальных моделей. Отсутствие регламентирующих стандартных правил проведения численных экспериментов влечет за

собой субъективную оценку работы строительных конструкций при решении практических задач, которые не подкреплены натурными физическими экспериментами, проведенными в соответствии с действующими государственными стандартами, нормами и правилами. Учитывая необходимость дифференцированного анализа влияния различных факторов на наступление предельных состояний в стено-балочных конструкциях, при численном исследовании целесообразно тестирование принимаемых конечно-элементных моделей с сопоставлением полученных результатов с экспериментальными данными. В этой связи актуальным является разработка

методики численного моделирования процесса деформирования железобетонных балок при технологическом увлажнении.

Формулировка цели статьи. Целью настоящей статьи является обоснование метода численного моделирования напряженно-деформированного состояния железобетонных балок при технологическом увлажнении, как одного из факторов, жизненного цикла экспериментальной стено-балочной системы [2] (рис.1) с учетом физической нелинейности деформирования железобетона и объемного расширения бетона балки подверженной технологическому увлажнению.

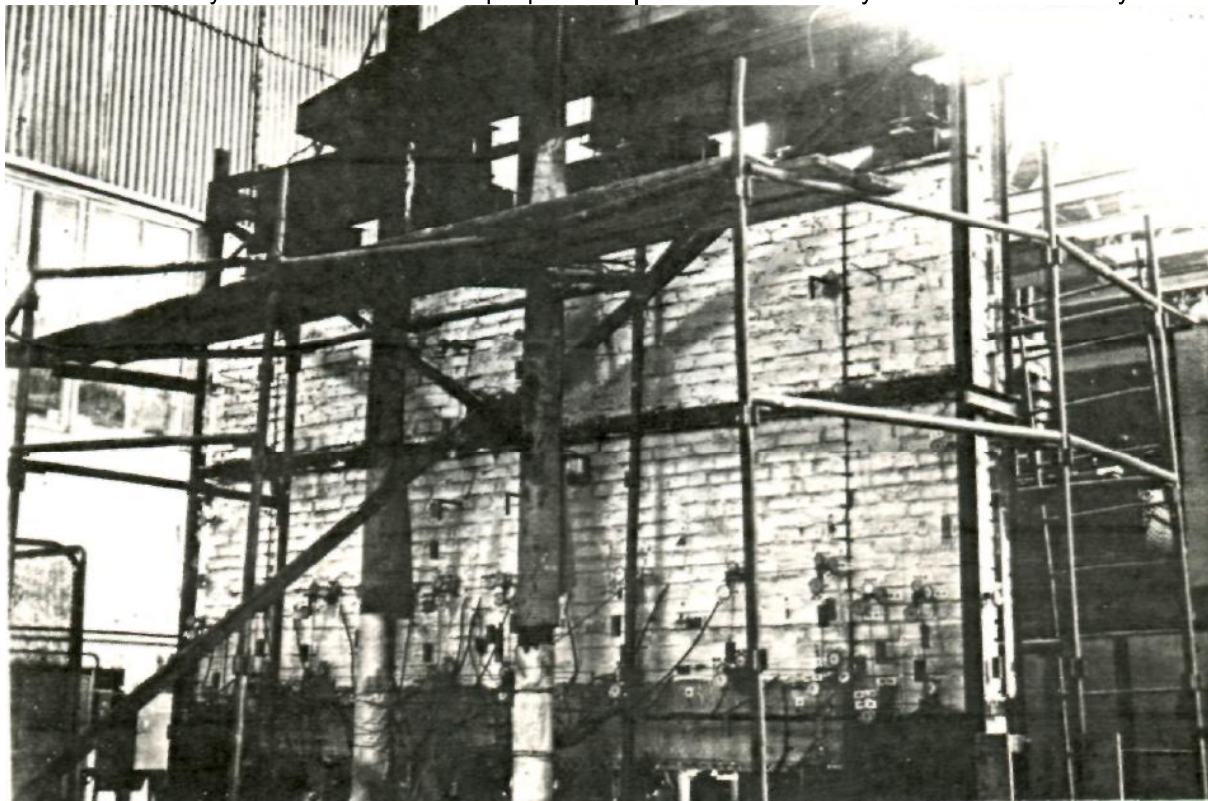


Рисунок 1. Общий вид фундаментной балки ФБ-6-10В1 серии 1.415-1 и кирпичной кладки стены после возведения, перед испытанием в 1000-тонном прессе ЦНИИСК им. Кучеренко (июль - август 1987г.) [2] .

Изложение основного материала.

Исследуемую стено-балочную систему следует отнести к плоской задаче теории упругости (плоское напряженное состояние) и потому, моделирование этой системы возможно физически нелинейными конечными элементами балки-стенки (КЭ 221) и стержневыми элементами (КЭ 210) из библиотеки конечных элементов ПК «ЛИРА».

В данной статье приводятся результаты решения следующих задач:

1. Анализ влияния идеализации геометрических и жесткостных характеристик поперечного сечения в стержневой модели (КЭ 210) и плоской модели (КЭ 221).

2. Тестирование конечно-элементных моделей (КЭ 210) и (КЭ221) по результатам экспериментальных данных [2] о

деформировании балки при ее поэтапном нагружении равномерно распределенной нагрузкой, численно равной весу кирпичной стены (рис. 2)

3. Тестирование конечно-элементной модели по результатам экспериментальных данных [2] о деформировании фундаментной балки при увлажнении верхней грани балки.

Анализ стержневой конечно-элементной модели фундаментной балки. Стержневой конечный элемент (КЭ 210) библиотеки ПК «ЛИРА» является наиболее изученным и достоверно моделирующим напряженно-деформированное состояние балок при силовых воздействиях с учетом физической нелинейности.

Расчетная схема модели представлена балкой, разбитой на 86 элементов длиной 5см.

В узлах на расстоянии 15см от левого и

правого концов модели накладывались связи по направлениям X и Z - слева и по Z - справа. Суммарная равномерно распределенная нагрузка на стержни принята 40.8251кН/м, которая при нелинейном моделировании разбивалась на 28 шагов. Каждый шаг загрузки модели соответствовал экспериментальному этапу приложения нагрузки 1.458кН/м от одного ряда штучных тарированных грузов (рис.2). В модели сечения имеет место отклонение геометрических характеристик от реального сечения до 11% за счет отклонения центра тяжести прямоугольного сечения от размещения центра тяжести трапецевидного сечения по высоте на 9.783мм.

На рис. 3,б представлено сравнение вертикальных перемещений точек балки, в соответствующем последнему этапу приложения нагрузки в эксперименте, прогиб модели в середине пролета (точка 7) - 0.835мм, а в эксперименте -0.849мм. Точность

фундаментной балки также приняты экспериментальные [2] нелинейная экспоненциальная зависимость деформирования бетона и кусочно-линейный закон деформирования армирующего материала.

Сечение стержневых конечных элементов приняты прямоугольными с шириной, равной среднему размеру сечения по высоте $b=230\text{мм}$. При данной степени идеализации поперечного которых измерялись вертикальные перемещения в эксперименте [2] и в конечноэлементной модели (КЭ210).

На первых трех шагах нелинейного нагружения отмечается расхождение прогибов расчетной модели от экспериментальных до 19%.

На седьмом шаге нагружения модели, моделирования характеризуется расхождением в 2.%.

Анализ конечно-элементной модели плоской задачи теории упругости.

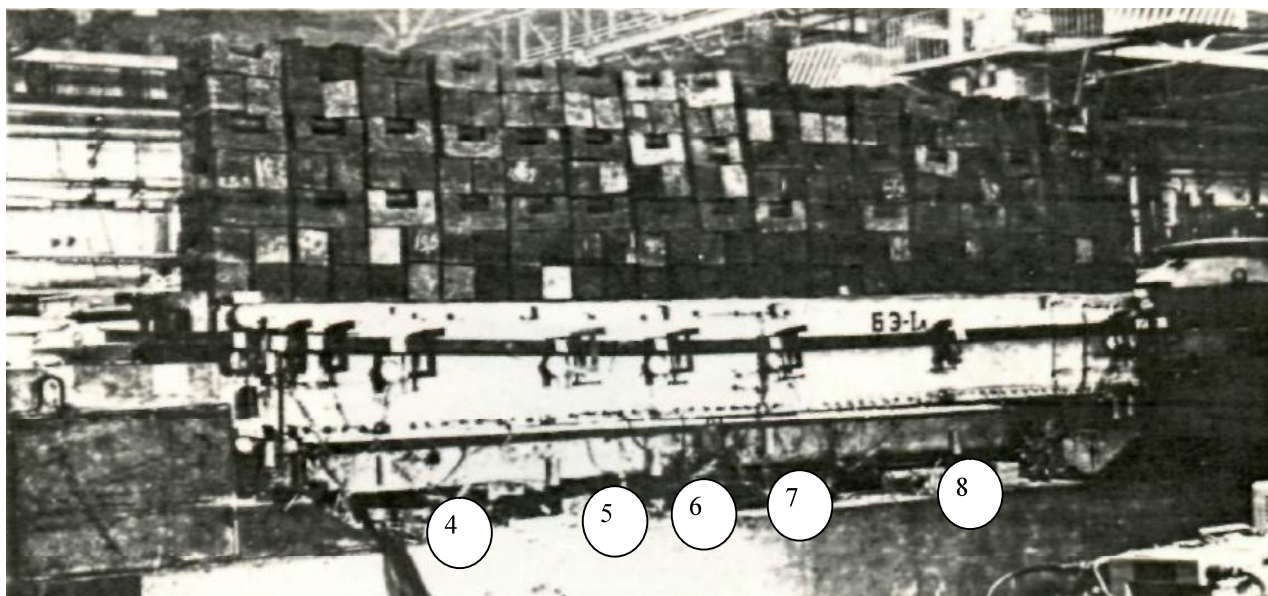


Рис. 2. Экспериментальная оценка [2] изгибной жесткости фундаментной балки ФБ-6-10В1 на действие равномерно распределенной нагрузки с указанием расположения точек 4-8 закрепления прогибомеров.

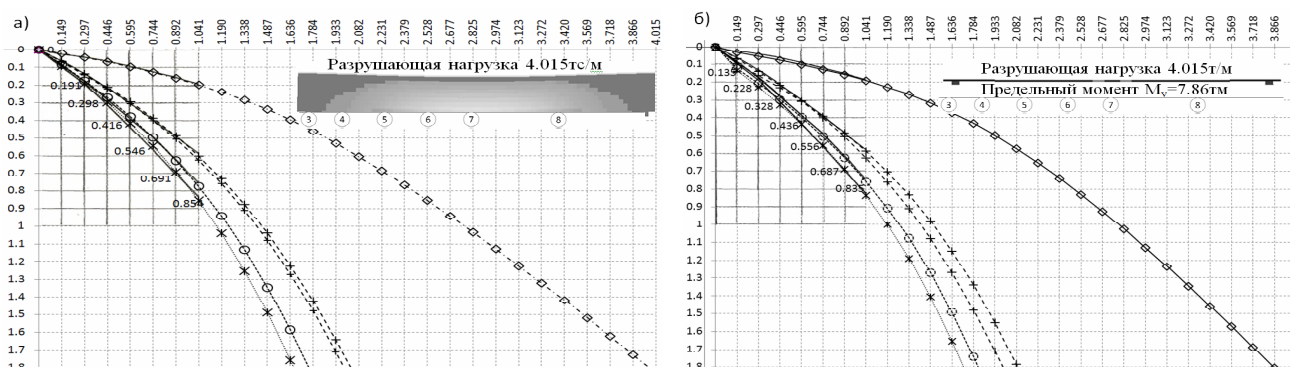


Рис. 3. Результаты сопоставления экспериментальных прогибов [2] (-) фундаментной балки с результатами тестирования модели КЭ221 (а) и модели КЭ210 (б) при равномерно распределенной нагрузке в точках: 7- * ; 6 - * ; 5 и 8 - * ; 4- *.

Дискретизация сечения балки с использованием конечных элементов балки-стенки (КЭ 221) позволяет моделировать технологическое увлажнение верхних волокон бетона балки.

Исследование влияния формы поперечного сечения стено-балочной модели указывает на то, что геометрические характеристики модели с применением КЭ 221 практически в точности соответствуют параметрам типового сечения балки. Отклонения не превышают 1%.

Недостатком стержневой модели является то, что задание температурных нагрузок предполагает равномерное распределение температур в пределах всего сечения, что не соответствует реальному распространению деформаций набухания при технологическом увлажнении верхней грани балки (см. рис.4).

Результаты тестирования конечно-элементных моделей. Для моделирования исследуемой стено-балочной системы предпочтительнее принимать физически нелинейные конечные элементы КЭ 221.

Результаты тестирования конечно-элементных моделей сравнивались с результатами экспериментального исследования (рис. 3) деформирования балки при равномерно распределенной нагрузке (рис. 2).

Стержневая модель КЭ210 на 3-х начальных этапах деформирования описывает деформирование балки с отклонением от экспериментальных данных более, чем на 19%.

Сопоставление этих результатов указывает на то, что модель КЭ 221 более точно описывает процесс нелинейного деформирования с постоянной точностью (отличие экспериментальных и расчетных величин прогибов составляет 0.58%).

На основании данного тестирования, а также, учитывая возможность задания градиента влажности (температуры) бетона по высоте сечению балки при применении КЭ 221, для принимается постоянным во всех загрузках равным 0.00001.

2. Скорости фильтрации воды в бетоне

моделирования работы стено-балочных систем целесообразно использовать модель с применением физически нелинейного конечного элемента КЭ 221.

Моделирование напряженно-деформированного состояния фундаментной балки при технологическом увлажнении. Для качественной оценки влияния набухания увлажненных слоев бетона на напряженно-деформированное состояние фундаментной балки использовались возможности системы «МОНТАЖ плюс» ПК «ЛИРА».

Выгиб середины пролета фундаментной балки при экспериментальном увлажнении верхних волокон ее сечения в [2] предлагалось аппроксимировать выражением в виде

$$f_w = \frac{A \cdot \tau}{B + \tau} f_{\tau=80} \quad (1)$$

где τ - время в часах после увлажнения;

$A = 1.6$; $B = 44.4$ - экспериментальные константы а $f_{\tau=80} = 0.33\text{мм}$ - значение выгиба балки через 80 часов после увлажнения.

Данное выражение авторы предлагают уточнить и представить выражение (1) в виде:

$$f_w = \frac{1.31 \cdot \tau}{27 + \tau} 0.345 \quad (2)$$

где принято $f_{\tau=87} = 0.345\text{мм}$, что соответствует выгибу [2] балки через 87 часов.

Расчет изменения температурных нагрузок проводился путем подбора аппроксимирующего экспериментальные данные выражения о выгибе балки.

Для решения задачи о выгибе балки из-за набухания верхних увлажненных волокон балки примем ряд следующих упрощений при конечно-элементном моделировании процесса:

1. Коэффициент набухания (в «ЛИРЕ» - коэффициент температурного расширения)

бетона не учитываются.

3. Глубина проникновения воды (см. рис.4) по высоте сечения принята равной 6см.



Рисунок 4. Общий вид испытания фундаментной балки ФБ-6-10В1 при увлажнении верхней грани [2] .

при капиллярном и диффузионном увлажнении |

4. Конечные элементы верхнего

армирования не увлажняются и не набухают.

Используя выражения (2), были выполнены тестовые расчеты при изменении приращений температур в верхних слоях конечных элементов конечноэлементной модели КЭ221 и составлены стадии загрузки балки температурными нагрузками, соответствующими приращениям выгибов по эксперименту [2].

Значения температур верхних слоев конечных элементов балки приняты по формуле:

$$t_w = \frac{1.31 \cdot t}{27 + t} 21.908 \quad (3)$$

где 21.908°C - температура нагрева верхних слоев конечных элементов балки, при которой выгиб составляет $f_{\tau=87} = 0.345\text{мм}$ и соответствует выгибу [2] балки через 87 часов.

Приращения и сумма приращений температурной нагрузки по стадиям загрузки через каждые 4 часа после увлажнения приведены на рис. 5.

Всего предусматривалось 27 нагружений и 27 стадий. На первой стадии монтировалась фундаментная балка, а на стадиях 2-27 задавались приращения температур согласно рис. 5.

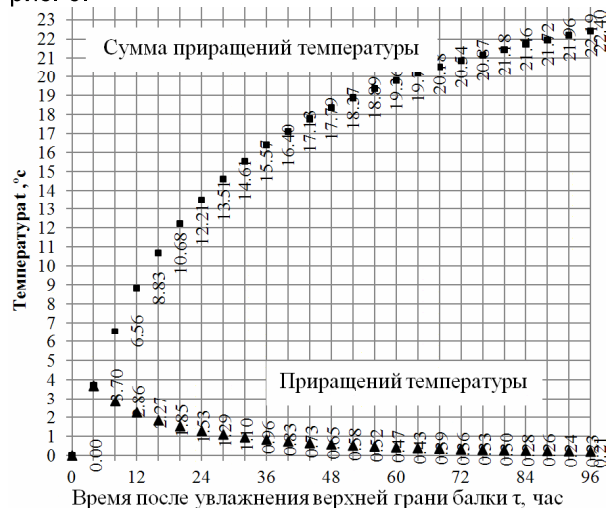


Рисунок 5. Приращения и сумма приращений расчетных температур по загрузкам через каждые 4 часа после увлажнения

Сопоставление экспериментальных выгибов и значений выгибов по (1) и (2) представлено на рис.6, из которого видно, что выражение (2) дает более точное описание выгиба балки. В результате моделирования набухания верхних волокон балки были получены перемещения и напряжения. На рис.7 представлены вертикальные перемещения середины пролета балки с учетом и без учета собственного веса балки.

Анализ вертикальных перемещений указывает на то, что результаты моделирования качественно подтверждают наличие значительных внутренних усилий, возникающих при набухании верхних слоев бетона. Заметное отличие моделирования процесса

деформирования балки с собственным весом от экспериментальных данных в первые сутки после увлажнения говорит о том, что за это время нарушается равновесная влажность бетона и набухание зависит от скорости фильтрации воды, капиллярного и диффузионного увлажнения в бетоне.

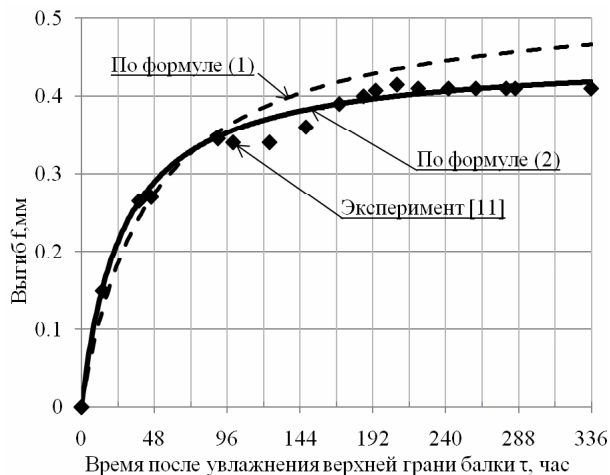


Рисунок 6. Значения и аппроксимация экспериментальных выгибов [2] фундаментной балки и после увлажнения верхней грани за 336 часов наблюдения.

На рис. 8 представлены нормальные напряжения в бетоне (σ_x , МПа) и в арматуре (N_{ax}) по вертикальному сечению балки в середине пролета от собственного веса балки и их изменение во времени после увлажнения верхней грани балки.

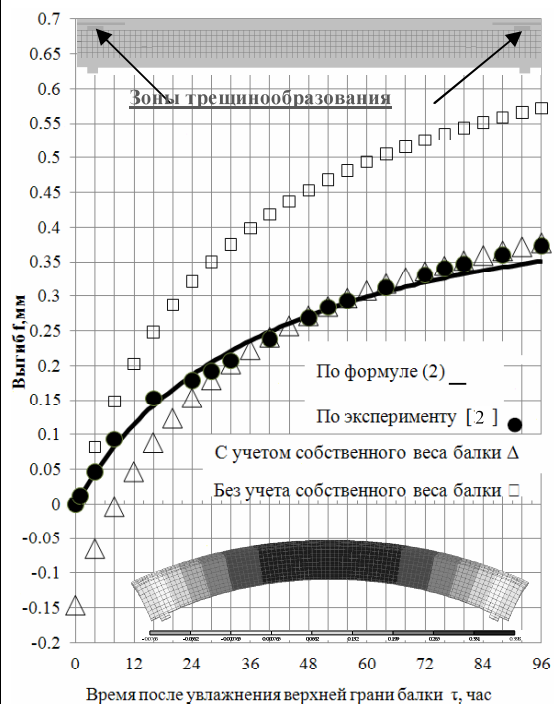


Рисунок 7. Сопоставление результатов моделирования выгибов фундаментной балки с экспериментальными данными

Выводы 1. При расчете напряженно-

деформированного состояния железобетонных балок и опирающихся на них кирпичных стен наиболее точное численное моделирование работы композитной конструкции в ПК «ЛИРА» обеспечивают нелинейные конечные элементы балки-стенки типа КЭ 221.

2. Предлагаемая авторами методика

численного моделирования процесса набухания верхних волокон бетона балки, подверженных технологическому увлажнению свежееуложенным цементно-песчаным раствором, позволяет дифференцировать влияние фактора технологического увлажнения на формирование предварительного напряжения балки.

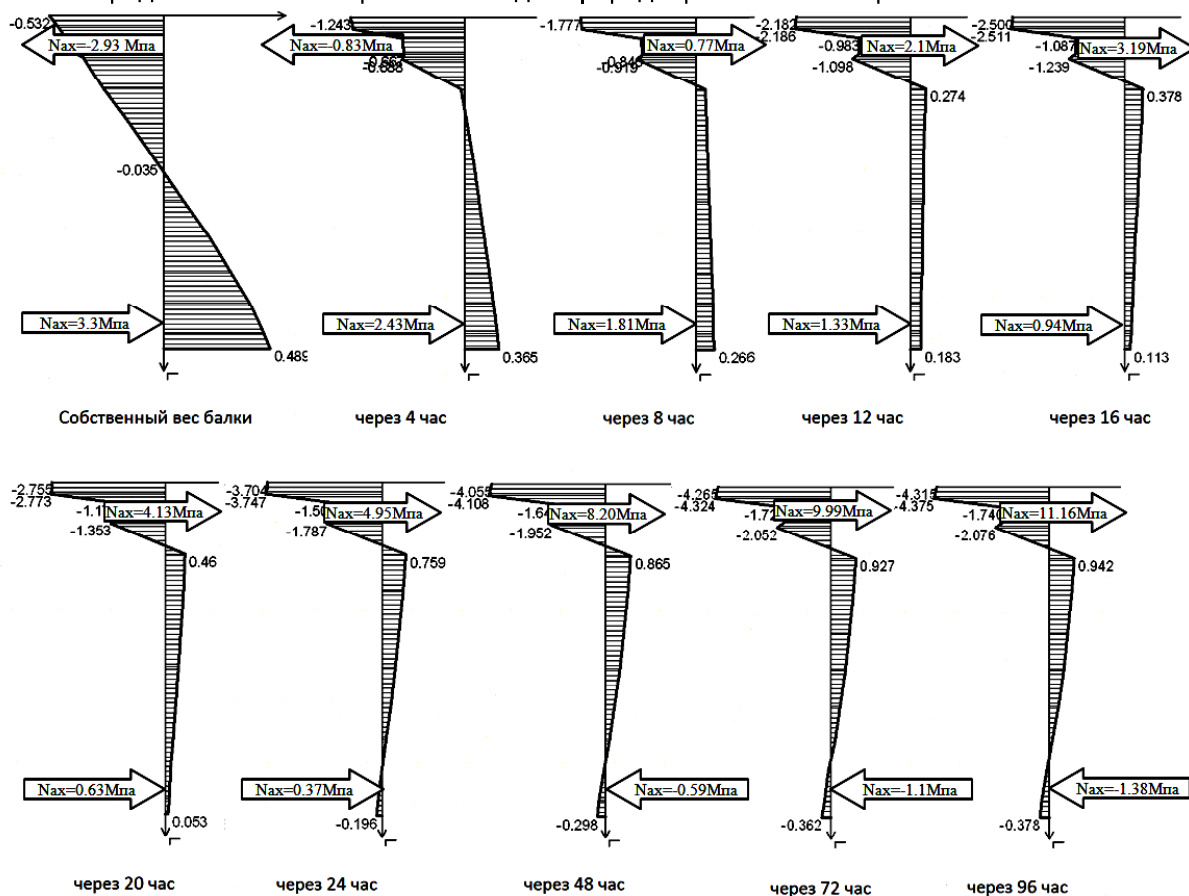


Рис.8. Изменение нормальных напряжений в середине пролета балки в процессе набухания верхних слоев бетона после увлажнения.

3. Явление технологического увлажнения бетона изгибаемых элементов вызывает изменяющееся во времени напряженно-деформированное состояние конструкции с изменением знаков напряжений по нормальным сечениям в бетоне и арматуре.

4. В экспериментальной части исследований [2] при загрузке стены в прессе ИПС1000 (рис.1) начало трещинообразования в балке отмечено над правой (подвижной) опорой на уровне низа увлажненных свежееуложенным раствором волокон балки, что подтверждается численным моделированием технологического увлажнения. На стадии 5 (через 20 часов после увлажнения) при суммарном значении температуры 10.68°C в конечных элементах бетона под армированным слоем появляются трещины (рис.7), которые на последующих стадиях развиваются к середине пролета вдоль нижней границы увлажнения (3-6 см от верхней грани балки).

5. Вызывает интерес поведение возведенной стено-балочной конструкции при усадке раствора кладки и верхних волокон бетона балки в условиях твердения кладки.

6. Очевидна необходимость разработки теоретических зависимостей набухания части сечения бетонных балок при увлажнении с учетом скорости фильтрации и капиллярного увлажнения на основе специальных экспериментальных исследований.

Перспективы дальнейших исследований. Перспективы проведения дальнейших исследований напряженно-деформированного состояния стено-балочных конструкций заключаются в уточнении представления о характере работы балок, несущих каменную кладку стен, в процессе жизненного цикла до наступления предельных состояний с выявлением характерных стадий деформирования.

Литература.

1. Мукосеев В.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния и прочности каменной кладки

стены производственного здания и фундаментной балки с учетом поэтапности производства работ / В.Н. Мукосеев, Н.В. Мукосеев // Веснік СНАУ. – 2009. – Випуск 9(13), - С. 90-93.

2. Мукосеев В.Н. Прочность и напряженно-деформированное состояние балок и опирающихся на них стен : дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.01: защищена 06.07.88 : утв. 14.12.88 /Мукосеев Владимир Николаевич. –М., 1988. - 210 с.

3. Городецкий А.С., Евзеров. Компьютерные модели конструкций. / А.С. Городецкий, Евзеров. – К.: издательство «ФАКТ», 2005. – 344с.

УДК 624.012.45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В НОРМАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЕ ОТ КРУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Парамонов Д.Ю.

В статье предложены аппроксимационные зависимости для определения перемещений в нормальной трещине от кручения железобетонного элемента. Данная характеристика определяет изменение крутильной жесткости балки при трещинообразовании.

Постановка проблемы и ее связь с важными практическими заданиями.

Развитие теории расчета железобетонных конструкций идет по пути совершенствования расчетного аппарата, уходу от ряда условностей [10]. Поэтому, переход от традиционных методов проектирования к учету пространственной работы элементов каркаса здания, дает возможность наиболее точно отразить их напряженно-деформированное состояние, а значит эффективно выполнять расчеты конструкций [1,8,12].

Для изгибаемых несущих элементов в составе перекрытия, часто вторичным силовым фактором является крутящее усилие, которое возникает при учете совместной работы конструкций. При этом образование нормальных трещин от изгиба влияет в меньшей мере на изменение изгибной жесткости по сравнению с крутильной [1,14].

Учет трещинообразования и, связанных с ним, изменение жесткостей позволяют учесть перераспределение усилий в элементах при проектировании конструкций с учетом фактической их пространственной модели работы.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы.

К сожалению, методика расчета крутильных жесткостей таких элементов на стадии трещинообразования ранее не изучалась. Хорошо известные работы в определении крутильных жесткостей относятся к элементам с пространственными наклонными трещинами [11, 13]. Методика расчета крутильных жесткостей с нормальными трещинами находится в начальной стадии разработки [1, 2, 3, 4, 6, 14, 15].

Основной их особенностью является использование метода конечных элементов для расчета перемещений от кручения. Использование в последующем этой характеристики, позволяет оценить изменение крутильной жесткости целого элемента при образовании трещин.

Выделение нерешенных ранее частей

общей проблемы.

Общим для методики определения крутильной жесткости с нормальными трещинами является использование метода конечных элементов или же сложного приближенного решения [1, 2, 3, 4, 6, 14, 15]. Такой подход очень трудоемкий для практического применения в проектной деятельности.

Предложения Азизова Т.Н. [3] по упрощению в определении перемещений от кручения, относятся к аппроксимированию функциями, факторов влияющих на деформации. Такое решение может дать значительные преимущества для практических расчетов крутильной жесткости с нормальными трещинами. Однако до настоящего времени данное предложение реализовано не было.

Цель статьи - установить аппроксимационные зависимости для перемещений в нормальной трещине от кручения.

Изложение основного материала.

Балка, испытывающая, как вторичный силовой фактор, крутильное воздействие M_t на фоне изгибающего усилия M и связанного с ним образованием нормальных трещин имеет расчетную схему, приведенную на рис. 1.

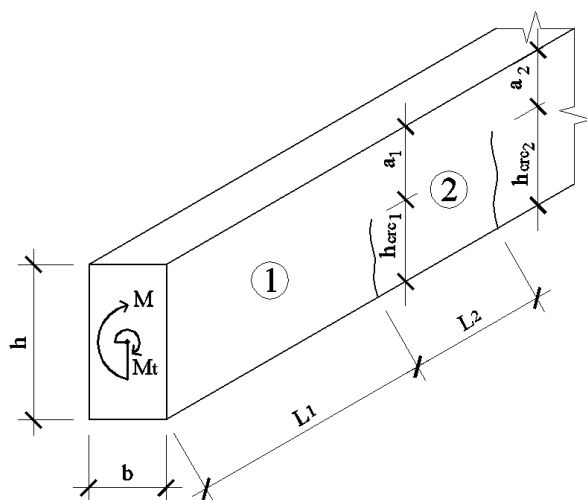


Рис.1. Фрагмент схемы балки, испытывающей изгибно-крутильное воздействие.