

УДК 69.059.2

ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ПОВТОРНЫХ И ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

инж. Голоднов К.А.

*Государственный научно-исследовательский институт строительных
конструкций, г. Киев, Украина*

Введение. Постановка проблемы. Сталежелезобетонные балки находят широкое применение в промышленном, транспортном, сельскохозяйственном и гражданском строительстве как конструкции перекрытий и покрытий. Они с одинаковым успехом могут использоваться как в новом строительстве, так и в виде элементов усиления или замены изношенных конструкций. Широкому внедрению также способствует хорошая сочетаемость сборных и монолитных конструкций, в частности, стальных - с тяжелым и легким бетоном.

Возведение сталежелезобетонных перекрытий и покрытий ускоряет сроки строительства (ремонта, восстановления). Эксплуатация перекрытий возможна практически сразу после монтажа стальных балок и начала схватывания уложенной бетонной смеси.

Анализ последних достижений и публикаций. В НИИСК на протяжении последних трех десятков лет проводились комплексные исследования работы бетона и железобетона. Были исследованы диаграммы бетона при однородном и неоднородном нагружении, установлено влияние на параметры диаграммы сжатия и напряженно-деформированное состояние (далее - НДС) железобетонных и сталежелезобетонных конструкций кратковременных малоцикловых повторных и знакопеременных режимов нагружения [1-6 и др.]. Результаты исследований вошли в действующие нормативные документы [7, 8].

По результатам исследований разработаны методы расчета конструкций, основанные на использовании реальных прочностных и деформативных характеристик материалов. Разработанные методы расчета дают возможность учесть влияние изменения жесткости сечений при расчетах отдельных конструкций, зданий и сооружений в целом.

Единый подход к расчету железобетонных конструкций всех типов при различных видах и режимах нагружения с обеспечением достаточной точности получаемых результатов будет способствовать широкому внедрению в практику строительства новых эффективных видов строительных конструкций широкого назначения как для нового строительства, так и для объектов реконструкции и технического перевооружения.

Целью работы является экспериментальное обоснование метода расчета сталежелезобетонных балок как элементов перекрытий при различных видах и режимах нагружения.

Основная часть. Для описания свойств железобетона принята модель НИИСК [2 и др.] и весь аналитический аппарат строится на использовании физико-механических характеристик бетона, определяемых при стандартных

и специальных [1] испытаниях.

Следует отметить, что для решения этой задачи использование параметров полной диаграммы " $\sigma - \varepsilon$ " бетона [2] ввиду обилия коэффициентов полинома для всех классов бетона по прочности на осевое сжатие не очень удобно. Полную диаграмму бетона можно заменить трапециидальной (по сути, диаграммой Прандтля, но позволяющей учитывать работу бетона на ниспадающей ветви), вводя поправочный коэффициент α к R_b (рис. 1). Такой подход может быть использован и при расчетах конструкций с учетом фактора времени.

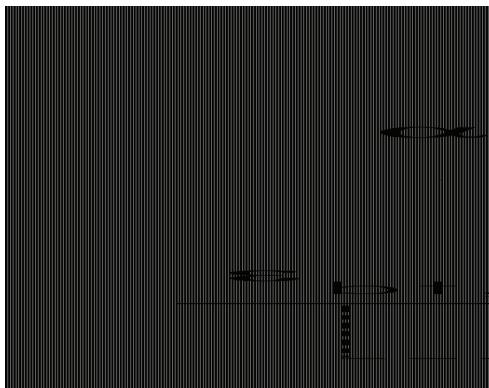


Рис. 1 Расчетная (1) и условно-точная (2) диаграммы " $\sigma - \varepsilon$ " бетона

Зависимости $\alpha = f(\varepsilon_1)$ могут быть представлены в виде:

$$\alpha = (0,95 - 0,00173 \cdot R_b) \cdot (2 \cdot y_\alpha - y_\alpha^2)^k; \quad (1)$$

$$k = R_b / R; \quad (2)$$

$$y_\alpha = \varepsilon_1 / \varepsilon_m; \quad 0 \leq y_\alpha \leq \varepsilon_{b,u} / \varepsilon_m, \quad (3)$$

где R, R_b – соответственно сопротивления бетонов сжатию класса В50 и железобетонного элемента (МПа) в зависимости от типа задачи (расчет по предельным состояниям I или II группы); ε_m – деформации бетона при максимальном значении α .

Деформации ε_m и $\varepsilon_{b,u}$ для заданного класса бетона по прочности на осевое сжатие в зависимости от типа задачи могут быть определены по следующим формулам:

при расчетах по предельным состояниям I группы

$$\varepsilon_m = (325 - 4 \cdot R_b) \cdot 10^{-5}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{b,u} = (440 - 8,33 \cdot R_b) \cdot 10^{-5}, \quad (5)$$

при расчетах по предельным состояниям II группы

$$\varepsilon_m = (370 - 4,5 \cdot R_b) \cdot 10^{-5}; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{b,u} = (490 - 7 \cdot R_b) \cdot 10^{-5}. \quad (7)$$

Кривизны при длительном действии нагрузки можно определить, используя приведенную выше методику определения НДС сечений изгибаемых элементов при кратковременном действии нагрузки, вводя еще один поправочный коэффициент α_t к R_b . Тогда напряжения в бетоне при длительном действии нагрузки:

$$\sigma_{b,l} = \alpha_t \cdot \alpha \cdot R_b, \quad (8)$$

где α_t - поправочный коэффициент, учитывающий увеличение деформативности бетона при длительном нагружении и несоответствие силовой и деформационной эпюр напряжений в бетоне изгибаемого железобетонного элемента.

Зная физико-механические характеристики металла балок, бетона и арматуры, можно определить и НДС расчетного сечения сталежелезобетонной балки на всех стадиях нагружения. Полученные в результате такого расчета зависимости " $M - \kappa$ " и на их основе зависимости "кривизна - модуль упругости" в дальнейшем можно использовать как при расчетах отдельных конструкций перекрытий, так и при расчетах зданий с применением вычислительных комплексов МКЭ типа ЛИРА или SCAD. Такие расчеты выполняются, последовательно уточняя деформативные характеристики бетона (модуль упругости) сталежелезобетонных элементов и, при необходимости, жесткости элементов, моделирующих основание.

Методика построения диаграммы "момент-кривизна" сталежелезобетонных балок при различных видах и режимах нагружения приведена в работах [5, 6].

Для экспериментального обоснования предложенной методики расчета были проведены испытания сталежелезобетонных балок при различных видах и режимах нагружения. В качестве основных были приняты образцы, которые представляли собой объединенные в одно целое железобетонную плиту и стальную балку. Стальная балка имела двутавровое сечение, составленное из двух швеллеров №10. Надежная совместная работа железобетонной плиты и стальной балки вплоть до разрушения обеспечивалась жесткими уголковыми

упорами и петлевыми анкерами в соответствии с рекомендациями [7]. Сваривание швеллеров осуществлялось в специальном кондукторе прерывистыми швами участками длиной 100 мм, что в значительной степени позволило избежать деформирования стальной балки вследствие появления остаточных сварочных напряжений. Комплекс вспомогательных образцов (кубы, призмы, фрагменты стальных швеллеров) дал возможность получить данные о физико-механических характеристиках примененных материалов.

Порядок изготовления и методика испытаний образцов изложены в работе [9].

После изготовления образцы были измерены. Было установлено, что отклонения размеров балок от проектных не превышают 5 мм, что позволило сделать вывод о возможности проведения сравнительных испытаний при различных видах и режимах нагружения для оценки степени влияния различных факторов на несущую способность и деформативность балок.

Основные образцы испытывались при таких видах и режимах нагружения:

1. КП-1 – КП-3 – при кратковременном однократном;
2. КПОВ-4–КПОВ-8 – при кратковременном малоцикловом повторном (цикл: нагружение положительным моментом, разгрузка, повторное нагружение положительным моментом). Количество циклов и уровень нагружения для каждой балки принимались индивидуально. По истечении нескольких циклов нагружения балки доводились до разрушения положительным моментом;
3. КЗН-9–КЗН-11 – при кратковременном знакопеременном (нагружение отрицательным моментом, разгрузка, нагружение положительным моментом до разрушения);
4. БД-1 – при длительном (первоначальное загрузке положительным моментом, выдержка 14 суток, разгрузка, выдержка 2 суток, загрузка отрицательным моментом, выдержка);
5. БД-2 – при длительном (загружение положительным моментом, выдержка не менее 14 суток, разгрузка, выдержка не менее 2 суток, загрузка положительным моментом, разгрузка и т.д.);
6. БД-3 – при длительном (загружение отрицательным моментом, выдержка 14 суток, разгрузка, выдержка 2 суток, загрузка положительным моментом, выдержка);
7. БД-4 – при длительном (загружение положительным моментом, выдержка).

После выдержки под нагрузкой основные образцы были разгружены и испытаны при однократном кратковременном нагружении до разрушения.

Испытания балок при кратковременном действии нагрузки производились с помощью специального винтового пресса (рис. 2). В ходе испытаний проводились измерения абсолютных деформаций в средних сечениях с помощью индикаторов часового типа ИГМ-10 с ценой деления 0,001, установленных на базе 200 мм, и прогибов балок в пяти точках по длине. Усилие, передаваемое прессом, контролировалось с помощью

механических силоизмерителей. Испытания проводились до разрушения балки – раздробления бетона сжатой зоны (рис. 3).

Испытания балок при длительном действии нагрузки производились в специальных установках (рис. 4). Постоянство длительно действующей нагрузки обеспечивалось с помощью стальной пружины.

Физико-механические характеристики бетона определялись при стандартных испытаниях кубов и призм. Кроме этого, были проведены испытания призм при длительном действии нагрузки (рис. 5).



Рис. 2 Балка в прессе с установленными приборами



Рис. 3 Разрушение сжатой зоны бетона



Рис. 4 Балки БД-1 – БД-4 в специальных установках с установленными приборами



Рис. 5 Призма в специальной установке при длительных испытаниях

Полученные в ходе проведения испытаний данные позволили получить зависимости «момент–кривизна» и «нагрузка–прогиб», что дало возможность проверить основные положения расчетной методики и дать предложения по ее корректировке.

Сопоставление результатов экспериментальных исследований и расчетов по разработанным методикам позволило сделать вывод о высокой надежности разработанных методов расчета. Зависимости «момент–кривизна» для балок КПОВ-4, КПО-5 и КПОВ-6, испытанных при задании нагрузки по

деформациям, имеют расходящийся характер (рис. 6), а для балок КПОВ-7, КПОВ-8 и КЗН-11, испытанных при постоянных нагрузках на каждом цикле, после второго цикла имеют стабилизированный характер (рис. 7).

Сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей «момент-кривизна» для балок серии КЗН приведено на рис. 8.

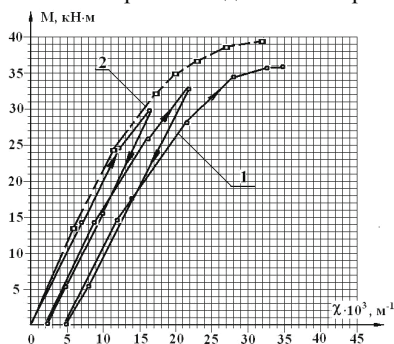


Рис. 6. Расходящийся характер зависимости «момент – кривизна» для балки КПОВ-4:

1 – экспериментальная кривая;
2 – теоретическая кривая

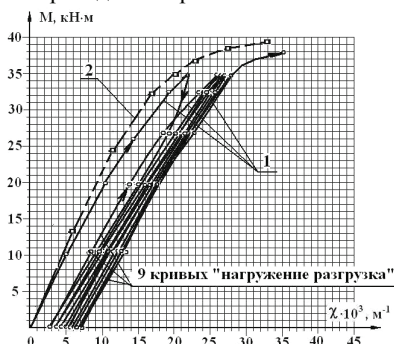


Рис. 7. Стабилизированный характер зависимости «момент – кривизна» для балки КПОВ-8:

1 – экспериментальная кривая;
2 – теоретическая кривая

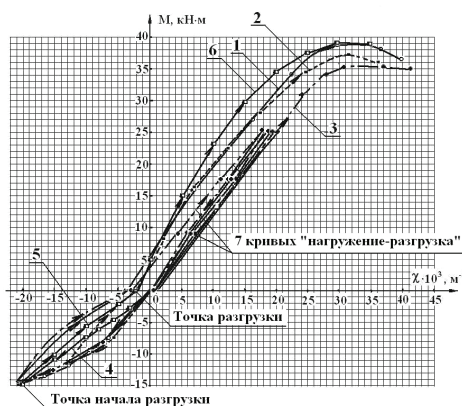


Рис. 8. Зависимости «момент-кривизна» для балок КЗН-9, КЗН-10, КЗН-11:

1 – экспериментальная для балки КЗН-9;
2 – экспериментальная для балки КЗН-10;
3 – экспериментальная для балки КЗН-11
4 – теоретическая при действии негативного момента;
5 – теоретическая кривая разгрузки;
6 – теоретическая кривая нагрузки позитивным моментом после разгрузки

Выводы

1. В ходе проведенных экспериментальных исследований получены данные о влиянии различных видов и режимов нагружения на прочность и деформативность сталежелезобетонных балок.

2. Несущая способность сталежелезобетонных балок, подверженных кратковременному повторному и знакопеременному нагружению, снижается до 20 % по сравнению с несущей способностью балок, испытанных при однократном нагружении. Снижение несущей способности зависит от количества циклов нагружения и уровня предварительного нагружения отрицательным моментом.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по определению параметров диаграммы " σ - ϵ " бетона при кратковременном сжатии / В.Я. Бачинский, А.Н. Бамбура, С.С. Ватагин и др. / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1985. – 16 с.
2. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / В.Я. Бачинский, А.Н. Бамбура, С.С. Ватагин и др. / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1987. – 24 с.
3. Бамбура А.М. До аналітичного описання діаграми механічного стану бетону при одноразовому короткочасному деформуванні / А.М. Бамбура // Буд. конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К.: НДІБК, 2002. – Вип. 57. – С. 31-34.
4. Аметов Ю.Г. Экспериментальные исследования прочности нормальных сечений сталебетонных изгибаемых конструкций / Ю.Г. Аметов // Буд. конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К.: НДІБК, 2002. – Вип. 57. – С. 3-7.
5. Голоднов К.А. Диаграмма “момент-кривизна” сталебетонных балок при знакопеременном нагружении / К.А. Голоднов // Буд. конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 60. – С. 622-626.
6. Голоднов К.А. Жесткость сталежелезобетонных изгибаемых элементов реконструируемых зданий и сооружений / К.А. Голоднов // Вісн. Донбас. держ. академії будівництва і архітектури: Зб. наук. праць: Будівельні конструкції, будівлі та споруди – Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – Макіївка: ДонДАБА, 2005. – Вип. 2005-8 (56). – С. 65-69.
7. ДБН В.2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Стале-залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
8. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.