

УДК 624.015.5

## **Несущая способность сталежелезобетонных балок при повторных и знакопеременных нагружениях**

**Голоднов К.А., Бамбура А.Н., д.т.н.**

ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», Украина

**Анотація.** Зміна функціонального призначення будинків і споруд часто супроводжується зміною конструктивної схеми. Як правило, елементами заміни перекриттів є сталезалізобетонні балки. Розглядається робота сталезалізобетонних балок при повторних і знакозмінних режимах навантаження.

**Аннотация.** Изменение функционального назначения зданий и сооружений часто сопровождается изменением конструктивной схемы. Как правило, элементами замены перекрытий являются сталежелезобетонные балки. Рассматривается работа сталежелезобетонных балок при повторных и знакопеременных режимах нагружения.

**Abstract.** The change of functional assignment of buildings and structures is accompanied frequently by change of the structural layout. As a rule, the elements to be replaced in the floorings are the reinforced steel-concrete beams. The behavior of the steel-concrete beams under repeated and alternating-sign load conditions is considered.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные балки, несущая способность, режимы нагружения.

**Введение. Постановка проблемы.** Как элементы нового строительства и при реконструкции существующих зданий различного назначения применяются сталежелезобетонные конструкции перекрытий, что позволяет эффективно использовать материал (стальные профили) как в период строительства, так и при эксплуатации. Основным преимуществом является сочетание положительных свойств железобетона и стального проката для достижения более высоких технико-экономических показателей.

Несмотря на очевидную экономическую целесообразность применения сталежелезобетонных конструкций, их широкое применение сдерживается рядом факторов: отсутствие отдельных нормативных документов и руководств для расчета и проектирования, недостаточная изученность влияния вида нагружения (кратковременное или длительное действие нагрузки) и режимов нагружения (однократное, малоцикловые повторные и знакопеременные) на несущую способность и деформативность и т. п. Решение этих вопросов важно как при проектировании новых, так и при усилении существующих конструкций, зданий в целом [1, 2, 3].

Конструкции зданий и сооружений должны надежно воспринимать все нагрузки и воздействия и передавать их на естественное основание. Надежность и долговечность конструкций, которая обеспечивается в процессе возведения путем использования качественных материалов и соблюдения технологии работ, в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов может снизиться. Так как большинство воздействующих факторов носят случайный характер, надежность и долговечность строительных конструкций определяются законами теории вероятности.

Изучение вопроса влияния условий эксплуатации (фактора времени, различных режимов нагружения, развития неравномерных деформаций основания и т. п.) на напряженно-деформированное состояние (далее НДС) конструкций и зданий в целом напрямую связано с проблемами реконструкции. В этом случае необходимо установить техническое состояние конструкций и здания в целом, обосновать возможность продления срока эксплуатации и принять решение о возможности дальнейшей эксплуатации или выполнении работ по усилению (замене).

В последние годы находят широкое применение здания с монолитным железобетонным каркасом или со стальным каркасом и монолитными железобетонными перекрытиями. Такие перекрытия имеют ряд преимуществ перед сборными, например, возможность включения дисков перекрытий в работу совместно с конструкциями каркаса. Особенно это актуально для высотных зданий, возводимых с несущими стальными каркасами. Включение железобетонных перекрытий в работу каркаса позволяет добиться существенной экономии стали.

**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 бетона и напряженно-деформированное состояние (далее – НДС) железобетонных и сталежелезобетонных конструкций различных видов и режимов нагружения [3–8].

По результатам исследований разработаны методы расчета конструкций, которые дают возможность учесть влияние изменения жесткости сечений при расчетах отдельных конструкций, зданий и сооружений в целом.

В нормативных документах [1–3] отсутствуют методики расчета сталежелезобетонных конструкций при различных видах (кратковременное или длительное действие нагрузки) и режимах (однократное, повторные, знакопеременные) нагружения (далее – при различных видах и режимах нагружения).

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.

**Цель работы.** Целью работы является проведение исследований несущей способности сталежелезобетонных балок при различных видах и режимах нагружения.

**Основная часть.** Основные экспериментальные образцы (рис. 1) представляли собой объединенные в одно целое железобетонную плиту (1) и стальную балку (2).

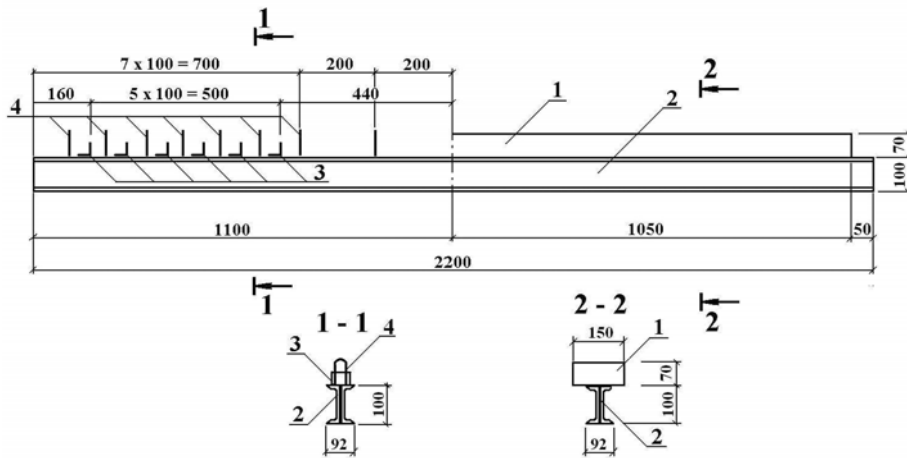


Рис. 1. Конструкции сталежелезобетонных балок

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 (3) и петлевыми анкерами (4) в соответствии с рекомендациями п. 5.42, п. 5.43 [1].

Изготовление сталежелезобетонных балок производилось в два этапа [8].

Сначала в деревянной опалубке кассетного типа изготавливались бетонные плиты. Опалубка была установлена на вибростол. Опалубка полностью заполнялась бетонной смесью. После укладки в опалубку смесь уплотнялась.

После окончания уплотнения бетонной смеси в бетон «вставлялась» упорами металлическая балка. Проектное положение балки фиксировалось гвоздями, установленными на торцевых досках опалубки. После фиксации балки в проектном положении добавляли в верхнюю часть бетон, что обеспечило заполнение пустот, образовавшихся под анкерами, приваренными к верхнему поясу балок.

Вспомогательные образцы для определения прочностных и деформационных характеристик бетона (стандартные кубы и призмы) бетонировались одновременно с основными в металлической инвентарной и деревянной опалубке.

Была изготовлена партия основных образцов в количестве 15 шт. Часть основных образцов предназначалась для испытаний при кратковременном действии однократной, повторной и знакопеременной нагрузок (11 образцов), а часть (4 образца) – при длительном действии однократной, повторной и знакопеременной нагрузки.

Методика испытаний разрабатывалась с таким расчетом, чтобы получить максимальный объем информации о НДС и несущей способности балок при различных режимах нагружения и кратковременном и длительном действии нагрузки.

Для проведения намеченных программой экспериментальных исследований использовано существующее в НИИСК оборудование [4, 8] для проведения испытаний железобетонных балок и призм. Поскольку результаты испытаний намечалось подвергнуть теоретическому анализу с привлечением разработанных моделей [6, 7], а также учитывая, что размеры балок близки к натурным, для повышения информативности эксперимента сочтено было целесообразным отказаться от образцов-двойников (кроме образцов серии КП). Испытания каждой балки производились при индивидуальном режиме нагружения. Были приняты следующие режимы нагружения: КП – кратковременное, однократное; КПОВ – кратковременное малоцикловое (повторное); КЗН – кратковременное знакопеременное; БД – испытания при длительном действии нагрузки. Балки испытывались по схеме четырехточечного изгиба.

Балка КП-1 была испытана с целью отработки методики испытаний. По результатам испытаний были уточнены основные положения методик, в частности, были усовершенствованы опорные приспособления, что позволило надежно устанавливать стальные балки на кольцевые динамометры и в дальнейшем проводить испытания при различных режимах нагружения без дополнительных затрат времени (рис. 2).

Испытания балок серий КП и КПОВ производились в такой последовательности. Образец устанавливался на опорные приспособления установки и выставлялся строго горизонтально по уровню. Передача усилия непосредственно на балку производилась с помощью траверсы через одну подвижную (катковую) и одну неподвижную опоры.



Рис. 2. Подготовленная к испытаниям балка  
(нагружение положительным моментом)

Для измерения продольных деформаций на базе 200 мм устанавливались приборы ИГМ-10. Прогибы балок измерялись в трех точках по длине приборами ИЧ-10МН. Осадки опор контролировались приборами ИГМ-10, которые были установлены в кольцевых динамометрах. Передаваемое на балку усилие контролировалось с помощью кольцевых динамометров (рис. 2).

Перед началом испытаний выполнялось центрирование образцов. Для этого образец несколько раз нагружался пробной нагрузкой. Величина нагрузки принималась такой, при которой абсолютные деформации по приборам И-1 и И-2 на сжатой полке бетона были равны примерно 0,1 мм. При нескольких циклах нагружения и разгрузки снимались показания всех приборов и делался вывод о достаточности центрирования. Если показания приборов были нестабильными, нагрузка снималась, и образец подвергался дополнительной центровке. При стабильных показаниях всех приборов производилось дальнейшее нагружение до разрушения сжатой зоны бетона.

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 нагружение положительным моментом, выдержка 14 суток, разгрузка, выдержка 2 суток, нагружение отрицательным моментом, выдержка);

5. БД-2 – при длительном (нагружение положительным моментом, выдержка не менее 14 суток, разгрузка, выдержка не менее 2 суток, нагружение положительным моментом, разгрузка и т.д.);

6. БД-3 – при длительном (нагружение отрицательным моментом, выдержка 14 суток, разгрузка, выдержка 2 суток, нагружение положительным моментом, выдержка);

7. БД-4 – при длительном (нагружение положительным моментом, выдержка).

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

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 [6, 7] позволило сделать вывод о высокой надежности разработанных методов расчета. Зависимости «момент–кривизна» для балок КПОВ-4, КПОВ-5 и КПОВ-6, испытанных при задании нагрузки по деформациям, имеют расходящийся характер (рис. 3), а для балок КПОВ-7, КПОВ-8 и КЗН-11, испытанных при постоянных нагрузках на каждом цикле, после второго цикла имеют стабилизированный характер (рис. 4).

Сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей «момент–кривизна» для балок серии КЗН приведено на рис. 5.

Таким образом, проведение экспериментальных исследований позволило получить важные научные результаты и проверить основные положения разработанной методики расчета сталежелезобетонных балок при различных видах и режимах нагружения.

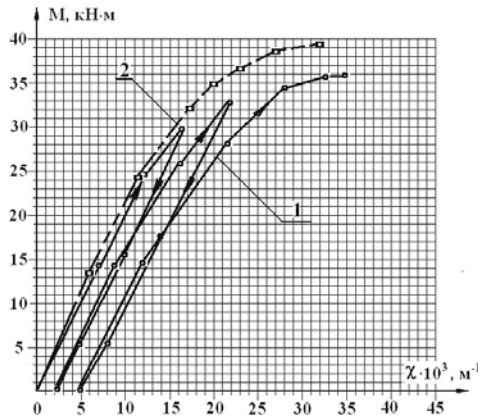


Рис. 3. Расходящийся характер зависимости «момент-кривизна» для балки КПОВ-4:  
1 – экспериментальная кривая;  
2 – теоретическая кривая

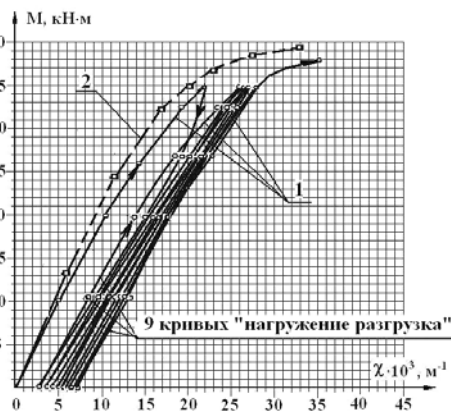


Рис. 4. Стабилизированный характер зависимости «момент-кривизна» для балки КПОВ-8:  
1 – экспериментальная кривая;  
2 – теоретическая кривая

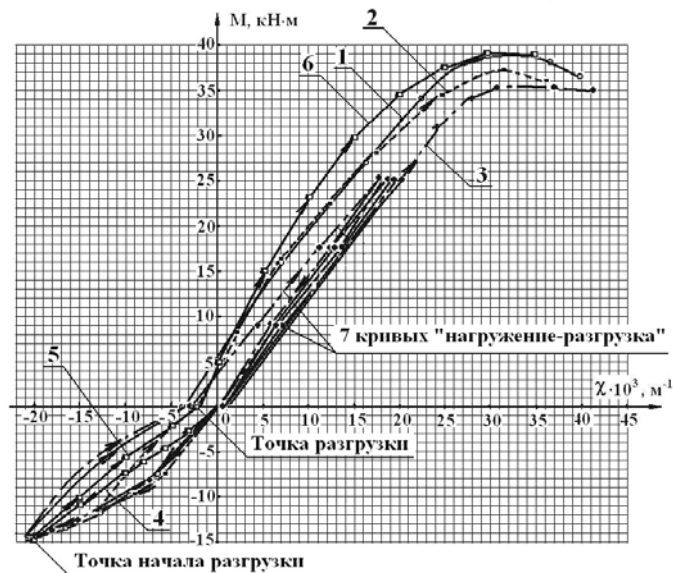


Рис. 5. Зависимости «момент-кривизна» для балок КЗН-9, КЗН-10, КЗН-11:  
1 – экспериментальная для балки КЗН-9; 2 – экспериментальная для балки КЗН-10; 3 – экспериментальная для балки КЗН-11; 4 – теоретическая при действии отрицательного момента; 5 – теоретическая кривая разгрузки; 6 – теоретическая кривая нагрузки положительным моментом после разгрузки

## **Выводы**

Разработанная методика и проведенные испытания сталежелезобетонных балок и вспомогательных образцов позволили получить данные о НДС и несущей способности, а также установить степень влияния предварительного нагружения на характер деформирования и исчерпания несущей способности.

Величина разрушающего изгибающего момента для всех испытанных балок при кратковременном действии нагрузки колеблется в пределах 12 % (максимальное значение для балки КЗН-9 составляет  $M = 38,9$  кН·м, а минимальное, для балки КП-1 –  $M = 34,9$  кН·м). Таким образом, 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.

Величина разрушающего изгибающего момента для всех балок, предварительно нагруженных длительной нагрузкой, при кратковременном действии нагрузки колеблется в пределах 14 % (максимальное значение для балки БД-2 составляет  $M = 40,7$  кН·м, а минимальное, для балки БД-1 –  $M = 35,8$  кН·м). Некоторое увеличение несущей способности балок, предварительно нагруженных длительной нагрузкой, по отношению к балкам, испытанным только при кратковременном действии нагрузки, можно объяснить увеличением прочности бетона балок во времени и при выдерживании под нагрузкой.

## **Литература**

- [1] Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 359 с. – (Споруди транспорту. Державні будівельні норми України).
- [2] Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-160:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. – (Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України).
- [3] Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. (Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України).
- [4] Методические рекомендации по определению параметров диаграммы "σ-ε" бетона при кратковременном сжатии / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1985. – 16 с.



- [5] Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1987. – 24 с.
- [6] 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.
- [7] Голоднов К. А. Жесткость сталежелезобетонных изгибаемых элементов реконструируемых зданий и сооружений / К. А. Голоднов // Вісн. Донбас. держ. академії будівництва і архітектури : Будівельні конструкції, будівлі та споруди – Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. : зб. наук. праць. – Макіївка : ДонДАБА, 2005. – Вип. 2005-8 (56). – С. 65–69.
- [8] Голоднов К. А. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных балок при повторных и знакопеременных нагружениях / К. А. Голоднов, А. Н. Бамбура // Буд. Конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К. : НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 134–147.

*Надійшла до редколегії 23.05.2013 р.*