

УДК 624.012.35/45

Замалиев Фарит Сахапович

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, Республика Татарстан, Казань¹
E-Mail: zamaliev49@mail.ru

Оценка малоцикловой выносливости сталежелезобетонных ребристых конструкций

Аннотация. В статье для оценки малоцикловой выносливости сталежелезобетонных конструкций представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Приведен анализ существующих методов расчета выносливости сталежелезобетонных конструкций. Предложена методика расчета базирующаяся на деформационной модели, отражающая действительное напряженно-деформированное состояние конструктивного элемента и реальные режимы деформирования материалов. Приведены гипотезы и предпосылки расчета; описаны аналитические и трансформированные диаграммы деформирования бетона и стали. Приведены коэффициенты асимметрии цикла напряжений материалов. Даны описания экспериментальных образцов, методика испытаний. Испытаны 24 балки, разбитые на четыре группы в соответствии с видом использованного анкера. Оценка воздействия малоцикловой нагрузки на образцы произведена путем сравнения несущей способности балки испытанной на статическую нагрузку. Испытания проведены до физического разрушения образцов, максимальная нагрузка цикла принята в пределах 0,84-0,93 разрушающей статической нагрузки. Измерялись сдвиг слоев, прогибы и деформации стали и бетона. Проведены наблюдения за характером образования трещин в бетоне и пластических деформаций в стальном двутавре, вплоть до разрушения образцов. Результаты испытаний на малоцикловую выносливость обработаны, приведены в виде графиков и использованы для сравнения с данными теоретических исследований. В конце статьи приведено сравнение результатов расчета по предлагаемой деформационной модели с результатами экспериментальных исследований.

Ключевые слова: малоцикловая выносливость; нормальные сечения; сталежелезобетонные элементы; аналитические зависимости; экспериментальные образцы; результаты испытаний.

¹ 420043, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д.1

Сталежелезобетонные конструкции транспортных, промышленных и энергетических зданий и сооружений во время эксплуатации наряду со статическими нагрузками испытывают действие повторно-статических (циклических) воздействий.

Диапазон эксплуатационных циклов нагружения для несущих элементов конструкций в зависимости от назначения меняется в достаточно широких пределах: для путепроводов и эстакад более 10^5 , для силосов зерно- и цементохранилищ $1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$, для резервуаров $5 \times 10^2 - 1 \times 10^4$, для комплексов прокатных станков $1 \times 10^3 - 5 \times 10^5$, для турбогенераторов $5 \times 10^2 - 1 \times 10^4$.

Во всех этих случаях сталежелезобетонные конструкции необходимо рассчитывать в области ограниченной усталости и оценивать их прочность в условиях малоциклового нагружения. В настоящее время методы расчета малоциклового выносливости сталежелезобетонных конструкций, которые достаточно обоснованно учитывают фактическое напряженно-деформированное состояние и реальные режимы нагружения, практически отсутствуют.

В действующих нормах проектирования сталежелезобетонных конструкций мостовых строений [1] расчеты выносливости ориентированы на обеспечение заданного срока эксплуатации конструкции, соответствующего двум и более миллионам циклов нагружения. В результате используются расчетные сопротивления бетона и арматуры на выносливость соответствующие этому количеству циклов нагружения.

Методы расчета сталежелезобетонных изгибаемых элементов при циклических нагружениях, приводимые в Еврокоде [2], учитывают те или иные особенности поведения сталежелезобетонных конструкций и не в должной мере оценивают их несущую способность.

Существующие методы расчета малоциклового выносливости вступают в противоречие с фактической неупругой работой сталежелезобетонных элементов и не в состоянии учитывать специфику работы сталежелезобетонных конструкций при малоцикловых нагружениях и, следовательно, не гарантируют получение экономических и одновременно надежных решений.

Необходимо учитывать особенности изменения напряженно-деформированного состояния сечений и фактические режимы деформирования бетона и стали в составе сталежелезобетонных изгибаемых элементов при различных режимах нагружения.

Наиболее перспективной является методика, базирующаяся на расчетной модели отражающей действительную работу сталежелезобетонных конструкций в зоне действия максимальных изгибающих моментов, и позволяющая учитывать действительное напряженно-деформированное состояние конструктивного элемента и реальные режимы деформирования бетона и стали [3-5, 12, 14-20]. В этом случае учитываются все основные факторы, влияющие на прочность сталежелезобетонных конструкций, что приводит к повышению их надежности и несущей способности.

При расчете прочности нормальных сечений исходим из следующих предпосылок:

- рассматриваются сечения, нормальные к продольной оси элемента,
- в качестве расчетных принимаются нормальные напряжения в монолитном бетоне плиты и в стальной балке,
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и стали представляется в виде диаграмм “ $\sigma - \varepsilon$ ”, трансформированных, при необходимости, для учета влияния вида и режима нагружения [4],
- для средних деформаций бетона плиты и стальной балки считается справедливой гипотеза плоских сечений,

- для составного сечения имеет место отклонение распределения деформаций по высоте от линейного закона (рис. 1).

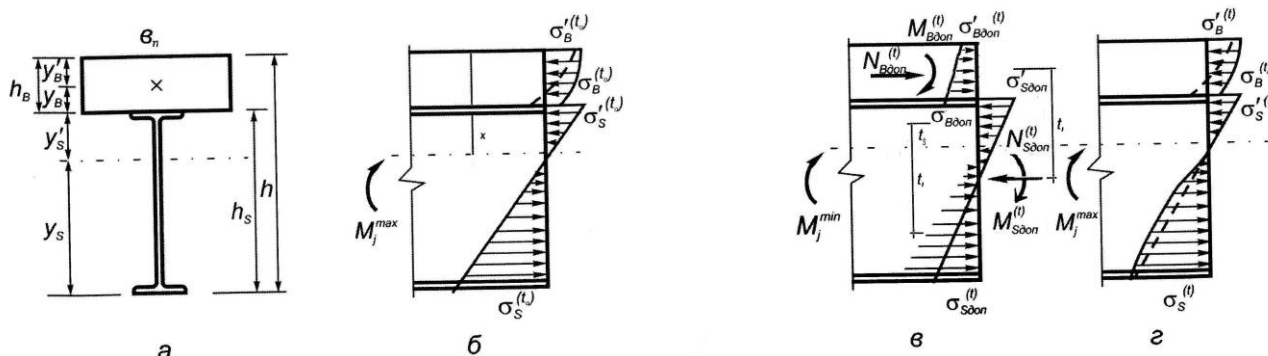


Рис. 1. Распределение напряжений и деформаций при податливости сопряжения

Исходя из гипотезы плоских сечений и трансформированных диаграмм зависимостей « $\sigma_B - \varepsilon_B$ » и « $\sigma_S - \varepsilon_S$ » по соответствующим деформациям определяются напряжения в бетоне монолитной плиты и в стальной балке. По напряжениям в бетоне σ_B и напряжениям в стали σ_S определяются внутренние усилия в сечении для любого рассматриваемого уровня и режима нагружения:

$$N_x = \int_0^{h_n} \sigma_b [\varepsilon_b(x) + \Delta\varepsilon] \cdot b_n d_x + \sigma'_s (\varepsilon'_s - \Delta\varepsilon) \cdot A'_s - \sigma_s (\varepsilon_s + \Delta\varepsilon) \cdot A_s \quad (1)$$

$$M_x = \int_0^{h_n} \sigma_b [\varepsilon_b(x) + \Delta\varepsilon] \cdot b_n Z_1 + \sigma'_s (\varepsilon'_s - \Delta\varepsilon) \cdot A'_s Z_2 + \sigma_s (\varepsilon_s + \Delta\varepsilon) \cdot A_s Z_3 \quad (2)$$

где $\Delta\varepsilon$ - относительная величина податливости шва.

$\sigma_B(\varepsilon_B)$, $\sigma_S(\varepsilon_S)$ - зависимости «напряжение-деформация» бетона и стали,

$\varepsilon_B(x_i)$ - закон изменения деформаций по высоте сечения,

b - расчетная ширины поперечного сечения бетонной плиты,

x_i - высота сжатой зоны для рассматриваемого вида и режима нагружения,

Z_1 - расстояние от центра тяжести эпюры нормальных напряжений в бетоне до нейтральной оси,

Z_2 - расстояние от центра тяжести эпюры нормальных напряжений сжатой части стальной балки до нейтральной оси,

Z_3 - расстояние от центра тяжести эпюры нормальных напряжений в растянутой зоне стальной балки до нейтральной оси.

Вычисления внутренних усилий по формулам (1), (2) выполняются методом последовательных приближений, пока не выполнится условие:

$$|\Delta N_x| \leq \delta,$$

где δ - заданная точность вычислений.

Прочность сталежелезобетонной конструкции на всех стадиях нагружения оценивается исходя из условия:

$$M_j + \sum \Delta M_{sj} + \Delta M_{bj} \leq M_z; \quad (3)$$

где M_j - изгибающий момент от максимального значения внешней нагрузки в рассматриваемом режиме нагружения,

$\Sigma \Delta M_{sj} = \Delta M_{sj}' + \Delta M_{sj}$ - дополнительный изгибающий момент вследствие возникновения и развития остаточных деформаций в стальной балке, в верхней и нижней частях сечения,

ΔM_{bj} - дополнительный изгибающий момент вследствие возникновения дополнительных напряжений в бетоне плиты,

M_z – вычисляется на основе трансформированных диаграмм деформирования материалов [3].

Для описания диаграмм деформирования бетона и стали при малоцикловом нагружении в качестве исходной использована диаграмма “ $\sigma_b - \varepsilon_b$ ” для случая однократного кратковременного статического нагружения. Аналитические зависимости для описания диаграмм деформирования бетона при малоцикловом нагружении получаются путем трансформирования исходных диаграмм при кратковременном статическом нагружении. Трансформированные диаграммы по виду принимаются аналогичными исходной диаграмме с учетом следующих дополнительных положений [7]:

- в качестве параметров основной узловой точки диаграмм бетона и стали принимаются напряжения в бетоне, равные пределу выносливости $R_{b,rep}$, в стали $R_{s,rep}$, и деформации, отвечающие деформациям в вершине диаграмм при статическом нагружении $\varepsilon_{b,rep} = \varepsilon_b R$; $\varepsilon_{s,rep} = \varepsilon_s R$.
- для дополнительной узловой точки, определяющей границы диаграмм, деформации принимаются равными предельным деформациям при статическом нагружении $\varepsilon_{bu,rep} = \varepsilon_{bu}$, а напряжения вычисляются по базовым зависимостям;
- координаты начала диаграмм принимаются переменными, а именно – смещенными на величину, равную деформациям виброползучести в рассматриваемый момент времени $\varepsilon_{pl}^b(N)$; $\varepsilon_{pl}^s(N)$.
- угол наклона диаграмм принимается с учетом изменения модуля упругости бетона при циклическом нагружении.

Записываются зависимости для определения координат характерных точек в трансформированных диаграммах стали и бетона [3,4], деформации виброползучести бетона в рассматриваемый момент времени и пластические деформации стали при малоцикловом нагружении [5].

Дополнительные изгибающие моменты в бетоне полки и в стальной балке определяются по формулам:

$$\Delta M_{sj} = \sigma_{s,доп}(t) A_s \cdot Z_1 ; \quad (4)$$

$$\Delta M'_{sj} = \sigma'_{s,доп}(t) A'_s \cdot Z_2 ; \quad (5)$$

$$M_{bj} = 0,5 [\sigma_{b,доп}(t) + \sigma_{b,доп}(t)] \times h_b \cdot b_n \cdot Z_3 . \quad (6)$$

где Z_1, Z_2, Z_3 – плечи равнодействующих сил соответствующих центру дополнительных напряжений. Записываются выражения для определения дополнительных напряжений в бетоне и стальной балке [6].

Уравнения (1-3) справедливы для всех стадий напряженно-деформированного состояния элемента, включая и стадию разрушения.

Прочность нормального сечения считается обеспеченной при удовлетворении условия (3).

Коэффициенты асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны плиты (p_{bt}) и в растянутой части стальной балки (p_{st}) в рассматриваемый момент времени « t » представляются в виде:

$$\rho_{bt} = \frac{M_j^{\max} \rho_M + \Delta M_{bj}}{M_j^{\max} + \Delta M_{bj}} ; \quad \rho_{st} = \frac{M_j^{\max} \rho_M + \Delta M_{sj}}{M_j^{\max} + \Delta M_{sj}} ; \quad \text{где} \quad \rho_M = \frac{M_j^{\min}}{M_j^{\max}} . \quad (7)$$

Прочностные, деформативные свойства сталежелезобетонных конструкций, а также их выносливость при действии повторяющейся нагрузки определяются во многом условием совместной работы бетонной плиты и стальной балки, то есть податливостью связей.

На сегодняшний день известно множество типов анкерных связей, применяемых для соединения бетонной и стальной частей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций [8-9]. Исходя из необходимости выбора наиболее эффективного с позиции несущей способности, а также простоты изготовления ограничились типом анкерных связей в виде вертикальных арматурных стержней.

Сталежелезобетонные балки, запроектированы из двутавра №12 (сталь С 245) длиной 2000 мм и бетонной плиты размерами 2000x400x50 мм. Соединение стальной балки и бетонной плиты осуществлялось путем установки вертикальных анкеров: Ø6 А400, Ø8 А400, Ø10 А240, Ø10 А400. Анкера к верхней полке балки приварены в два ряда, причем в крайних третях шаг принят равным 100 мм, а в средней части – 150 мм [10]. Все балки были разбиты на четыре группы по 6 балок в соответствии с видом использованного анкера.

Оценка воздействия многократно повторной нагрузки производилась путем сравнения несущей способности исследуемого образца при повторной нагрузке с ее статической несущей способностью. Поэтому в каждой группе один образец был испытан статической нагрузкой. Испытания статическими и многократно повторными нагрузками производились на гидравлическом прессе УММ-200 (рис.2). Сдвиг слоев в призмах измерялись с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм через траверсы в виде двух сосредоточенных.

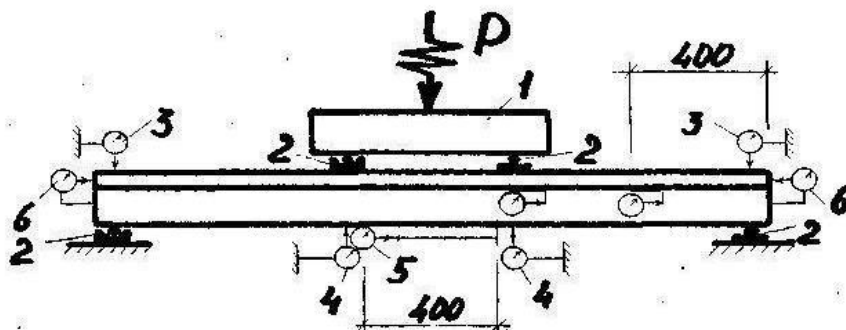


Рис. 2. Схема испытания балок

Учитывая возможности испытательной машины и тот факт, что частота приложения нагрузок типа малоциклового не превышает 3 Гц, частота повторения ω была принята постоянной и равной 8 цикл./мин.. за базовое число повторений нагрузки было принято 10^4 циклов нагружения, а коэффициент асимметрии цикла $\rho = P_{\min}/P_{\max} = 0.33$.

Испытания проводились до физического разрушения образца при исследуемой базе 10^4 циклов, при этом максимальная нагрузка цикла P_{\max} принималась в пределах $0,84 \cdot 0,93 P_{\text{разр}}^{\text{стат}}$. В целях установления предела выносливости и изменения напряженно-деформированного состояния в процессе циклического нагружения после определенного количества циклов нагружения равного (0.0001; 0.0005; 0.001; 0.005; 0.01; 0.05; 0.1; 1) 10^4 циклов снимались показания индикаторов на уровнях напряжения равных 0; $P_{\min} = 0.33P_{\max}$; $0.66 P_{\max}$; P_{\max} ; $0.66 P_{\max}$; P_{\min} ; 0 без выдержки опытных образцов под данной нагрузкой. Одновременно, с

измерением деформаций слоев на контакте проводилось наблюдение за характером образования трещин в бетоне.

Во всех испытанных образцах в начале имело место сцепление между стальным профилем и бетоном. Сцепление исчезло после 10-20 циклов, в дальнейшем восприятие сдвигающих усилий происходило только за счет работы анкерных связей, пересекающих контактную поверхность. При этом происходил изгиб анкера и смятие бетона под стальным анкером. С увеличением количества циклов между бетоном и стальным профилем сдвиг слоев увеличивается и когда эта величина достигает значения $\Delta=10-25 \cdot 10^{-2}$ мм, начинается неупругое деформирование и абсолютные деформации сдвига резко увеличивается, что приводит к окончательному разрушению образцов. Причем, пластические деформации анкеров раньше начинаются у стержня $\varnothing 6$ А-240 [13,20].

Результаты испытаний на малоцикловую выносливость обрабатывались методами математической статистики, путем получения корреляционной зависимости $P_{max}=f(\lg N)$. Линия регрессии строится в виде диаграммы, на оси абсцисс которой откладывается в логарифмическом масштабе, число циклов нагружений до разрушения образцов, а по оси ординат величина отношения максимальной нагрузки в цикле к разрушающей. В результате для каждой серии образцов устанавливается линейная корреляционная связь, описываемая функцией:

$$P_{max}=A+B \lg N$$

За численное значение предела выносливости принималась величина, соответствующая пересечению ординаты, восстановлена из точки $\lg N=4$ (соответствующая $N=10\ 000$ циклов) до пересечения с линией регрессии.

Податливость контакта зависит от количества циклов нагружения и шага, материала анкера, на что влияют закономерности развития деформации сжатия бетона под анкерами, а также деформации изгиба самих стальных анкеров (рис. 3).

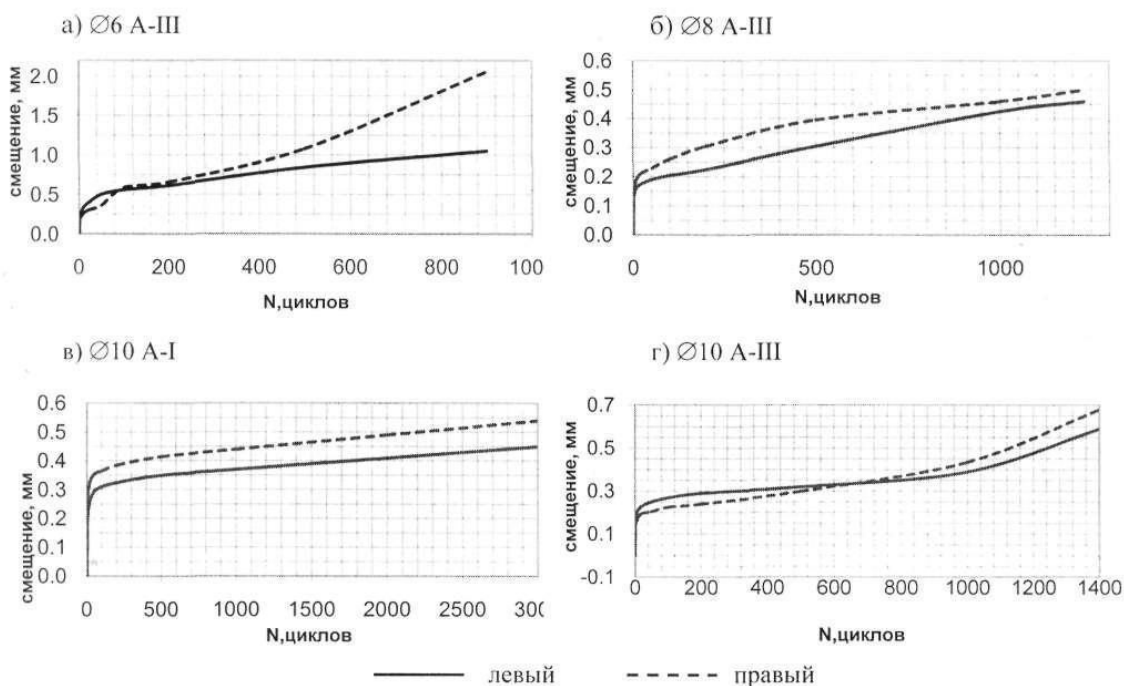


Рис. 3. Диаграммы смещения слоев на торцах балок

Разрушение балок при воздействии циклических нагрузок во 2, 3 и 4 группах происходило, в целом, по аналогичной схеме, с отличием в том, что в момент разрушения в 1.5

– 2 раза возросло смещение контакта на границе слоев, а раздробление бетона происходило на более мелкие фракции.

В первой же группе, с наиболее податливыми анкерами, лишь балка с $\eta=0.91$ разрушалась по нормальному сечению с раздроблением бетона. В остальных же балках происходил срез анкеров в приопорной части с отрывом бетонной плиты от стальной балки.

Наименьший сдвиг по границе слоев, а соответственно и наибольшую несущую способность показали балки с анкерами $\varnothing 10$ А-III. Далее по убывающей – $\varnothing 8$ А-400. Замыкают группу балки с анкерами $\varnothing 6$ А-400 и $\varnothing 10$ А-240, причем при приблизительно одинаковой несущей способности и выносливости на действие малоцикловых нагрузок, балки с анкерами $\varnothing 6$ А-400 разрушались от среза самих анкеров (рис. 4). Тогда как остальные три группы разрушались по нормальному сечению с раздроблением бетона [10-11, 17].

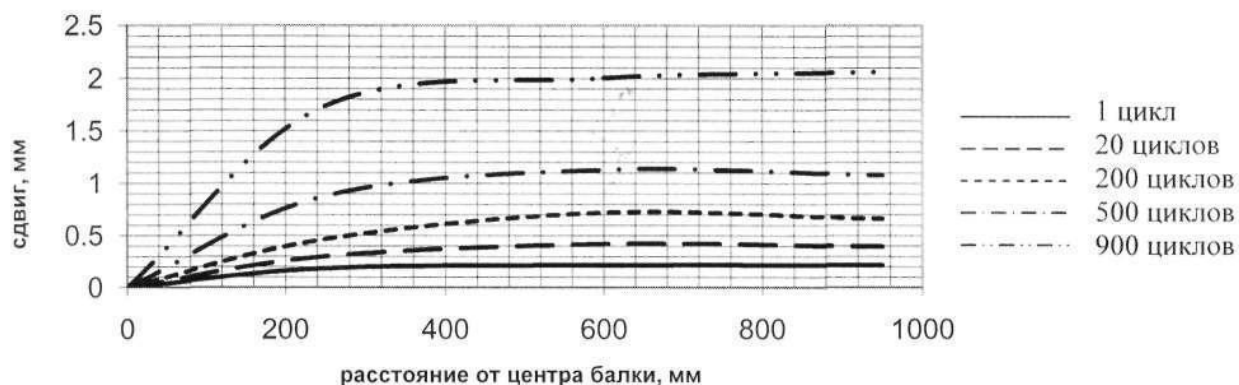


Рис. 4. Диаграмма сдвига на границе сталь-бетон по длине балки на примере анкеров диаметром $\varnothing 6$ А-400

Сравнение результатов расчета по предлагаемому методу с результатами экспериментальных исследований показало удовлетворительную сходимость в пределах 3-10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84// Издание официальное. – М., 2011.
2. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules for buildings / European Committee for Standardization, 2002, p. 226.
3. Карпенко Н.И. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры [Текст] / Н.И.Карпенко, Т.А.Мухамедиев, А.Н.Петров// Напряженно-деформированное состояние бетона и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1986. – с. 7-25.
4. Залесов А.С. Расчет изгибаемых железобетонных элементов на выносливость с учетом аналитических диаграмм деформирования бетона и арматуры [Текст]/ А.С. Залесов., И.Т. Мирсяпов/ Бетон и железобетон. 1993, №4. – с. 22-24.
5. Мирсяпов И.Т. Малоцикловая выносливость железобетонных изгибаемых элементов при работе арматуры на упругопластической стадии [Текст] / И.Т. Мирсяпов, А.А. Абрамов// Известия ВУЗов. Строительство, №3. – М., 1997. – с. 60-65
6. Замалиев, Ф.С. Малоцикловая выносливость нормальных сечений сталежелезобетонных элементов при нелинейном деформировании материалов [Текст] /И.Т.Мирсяпов, Ф.С. Замалиев Э.Ф. Замалиев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза, 2002. – С. 93-97.
7. Замалиев, Ф.С. К расчету малоциклового выносливости сталежелезобетонных ребристых конструкций [Текст] / Ф.С. Замалиев // Транспортное строительство. – 2013. – № 9. – С. 8-10.
8. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные мосты [Текст]/ Н.Н. Стрелецкий. – М.: Изд-во «Транспорт», 1965. –376 с.
9. Гибшман Е.Е. Проектирование стальных конструкций, объединенных с железобетоном, в автодорожных мостах [Текст] / Е.Е. Гибшман. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 231с.
10. Замалиев, Ф.С. Экспериментальные исследования влияния податливости связей по границе «сталь-бетон» на деформативность и выносливость сталежелезобетонных балок при малоцикловых нагружениях [Текст] / И.Т. Мирсяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Перспективы развития Волжского региона: материалы Всероссийской заочной конференции. – Тверь : Изд-во Тверского ГТУ, 2002. – С.201-203.
11. Замалиев, Ф.С. Экспериментальные исследования податливости контакта слоев сталежелезобетонных конструкций при малоцикловых нагружениях [Текст]/ И.Т. Мирсяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Вестник МГСУ. – 2011. - № 2 (15) т.2. – С. 163-168.
12. Замалиев, Ф.С. Малоцикловая выносливость нормальных сечений сталежелезобетонных элементов при нелинейном деформировании материалов [Текст] /И.Т.Мирсяпов, Ф.С. Замалиев Э.Ф. Замалиев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза, 2002. – С. 93-97.

13. Замалиев, Ф.С. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных балок на малоцикловые нагружения [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей международной научно-технической конференции. – Пенза, 2002. – С. 64-68.
14. Замалиев, Ф.С. Исследование малоциклового прочностного и деформативного поведения сталежелезобетонных изгибаемых конструкций на крупномасштабных моделях [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных и пластиковых конструкций в строительстве и на транспорте: материалы международной научно-технической конференции. – Самара, 2002. – С. 110.
15. Замалиев, Ф.С. Расчет малоциклового выносливостного поведения нормальных сечений сталежелезобетонных элементов при нелинейном деформировании материалов с учетом податливости сопряжения слоев [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Актуальные проблемы градостроительства и ЖКХ: сборник международной научно-практической конференции. – М., 2003. – С. 298-301.
16. Замалиев, Ф.С. Оценка малоциклового выносливостного поведения нормальных сечений сталежелезобетонных элементов на основе аналитических диаграмм деформирования материалов [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Развитие современных городов и реформы ЖКХ: материалы III международной научно-практической конференции. – М., 2005. – С. 363-366.
17. Замалиев, Ф.С. Учет податливости контакта слоев при расчетах прочностного и малоциклового выносливостного поведения сталежелезобетонных элементов [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, Ф.С. Замалиев, Э.Ф. Замалиев // Известия КазГАСУ. – 2010. - № 2 (14). – С. 126-133.
18. Замалиев, Ф.С. Прочность нормальных сечений сталежелезобетонных изгибаемых элементов при длительных статических нагружениях [Текст] / Ф.С. Замалиев, Ш.Н. Хайрутдинов // Известия КазГАСУ. – 2012. - № 3 (21). – С. 41-46.
19. Замалиев, Ф.С. К расчету малоциклового выносливостного поведения сталежелезобетонных ребристых конструкций [Текст] / Ф.С. Замалиев // Транспортное строительство. – 2013. – № 9. – С. 8-10.
20. Замалиев, Ф.С. Экспериментально-теоретические исследования сталежелезобетонных конструкций при различных видах нагружения [Текст] / Ф.С. Замалиев // Актуальные проблемы строительства и дорожного комплекса: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2013. – С. 124-130.

Farit Zamaliev

Kazan State University of Architecture and Engineering
Russia, Kazan
E-Mail: zamaliev49@mail.ru

Evaluation of low-cycle endurance of steel-concrete ribbed structures

Abstract: In this paper to evaluate the low-cycle endurance of steel-concrete structures presents the results of theoretical and experimental studies. An analysis of existing methods of calculating the endurance of steel-concrete structures. The design procedure based on the deformation model, which reflects the actual stress-strain state of the component and the real modes of deformation of materials. Given hypothesis and background calculation; describes the analytical and the transformed stress-strain diagram of concrete and steel. Given the asymmetry coefficients stress cycle materials. Describes the experimental samples, the test procedure. Tested 24 beams broken as four groups according to the type of anchor used. Assessing the impact of low-cycle load on the samples produced by comparing the carrying capacity of the tested beams static load. Tests were carried out to the physical destruction of the samples, the maximum load cycle is done within 0.84-0.93 destructive static load. Measured shear layers, bending and deformation of steel and concrete. Conducted observations of the nature of the formation of cracks in the concrete and plastic deformation of the steel I-beams up to the destruction of the samples. Results of tests for low-cycle endurance processed. At the end of the article shows a comparison of the results of calculations on the proposed deformation model with the experimental results.

Keywords: low-cycle endurance; normal sections; steel and reinforced concrete elements; analytical dependences; experimental samples; test results.

REFERENCES

1. SP 35.13330.2011 Bridges and pipes. The updated edition of SNIP 2.05.03-84 // Official publication. - M., 2011.
2. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1: General rules for buildings / European Committee for Standardization, 2002, P. 226.
3. Karpenko N.I. Sources and transformed stress-strain diagram of concrete and reinforcement [Text] / N.I.Karpenko, T.A.Muhamediev, A.N.Petrov // Stress-strain state of concrete and reinforced concrete structures. - M.: NIIZhB, 1986 - P. 7-25.
4. Zalesov A.S. Calculation of flexural concrete elements of endurance with the analytical stress-strain diagrams of concrete and reinforcement [Text] / A. Zalesov., I.T. Mirsayapov / Concrete and reinforced concrete. 1993, №4. - P. 22-24.
5. Mirsayapov I.T. Low-cycle endurance of reinforced concrete flexural members when working on valves elastoplastic stage [Text] / I.T. Mirsayapov, A.A. Abramov // of the universities. Construction, №3. - M., 1997 - P. 60-65
6. Zamaliev F.S. Low-cycle endurance of the normal sections of steel-concrete elements in the nonlinear deformation of materials [Text] / I.T.Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Efficient Building design: theory and practice: a collection of articles of the international scientific and technical conference. - Penza, 2002 - P. 93-97.
7. Zamaliev F.S. On the calculation of the low-cycle endurance of steel-concrete ribbed structures [Text] / F.S. Zamaliev // Transport building. - 2013. - № 9. - P. 8-10.
8. Streletskiy N.N. Steel and reinforced concrete bridges [Text] / N.N. Streletskiy. - M.: of "Transport", 1965. -376 P.
9. Gibshman E.E. Design of steel structures, combined with reinforced concrete in highway bridges [Text] / E.E. Gibshman. - M.: Avtotransizdat 1956 – 231P.
10. Zamaliev F.S. Experimental study of the effect of compliance on the border ties "steel-concrete" on the deformability and toughness of steel-concrete beams under low-cycle loading [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Prospects for the development of the Volga region: Proceedings of the All-Russian videoconference. – Tver: Univ Tver GTU, 2002 - P.201-203.
11. Zamaliev F.S. Experimental studies of compliance contact layers of steel-concrete structures under low-cycle loading [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Herald MGSU. - 2011. - № 2 (15) v.2. - P. 163-168.
12. Zamaliev F.S. Low-cycle endurance of the normal sections of steel-concrete elements in the nonlinear deformation of materials [Text] / I.T.Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Efficient Building design: theory and practice: a collection of articles of the international scientific and technical conference. - Penza, 2002 - P. 93-97.
13. Zamaliev F.S. Experimental studies of steel-concrete beams on low-cycle loading [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Efficient Building design: theory and practice: a collection of articles of the international scientific and technical conference. - Penza, 2002 - P. 64-68.
14. Zamaliev F.S. The study of low-cycle strength and deformability of steel-concrete bent designs on large-scale models [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Modern Problems of improvement and development of metal, wood and plastic

- structures in the construction and transport: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. - Samara, 2002 - P. 110.
15. Zamaliev F.S. Calculation of low-cycle endurance of normal sections of steel-concrete elements in the nonlinear deformation of materials with regard to compliance interface layers [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // Actual problems of urban development and the FCC: a collection of international scientific-practical conference. - M., 2003 - P. 298-301.
 16. Zamaliev F.S. Evaluation of low-cycle endurance of normal sections of steel-concrete elements based on the analytical stress-strain diagrams of materials [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // development of modern cities and housing reform: Proceedings of the III International scientific-practical conference. - M., 2005 - P. 363-366.
 17. Zamaliev F.S. Accounting compliance contact layers in the calculations of strength and low-cycle endurance of steel-concrete elements [Text] / I.T. Mirsayapov, F.S. Zamaliev, E.F. Zamaliev // News KGASU. - 2010. - № 2 (14). - P. 126-133.
 18. Zamaliev F.S. Strength of the normal sections of steel-concrete flexural members with long static loadings [Text] / FS Zamaliev, SN Khairutdinov // News KGASU. - 2012. - № 3 (21). - P. 41-46.
 19. Zamaliev F.S. On the calculation of the low-cycle endurance of steel-concrete ribbed structures [Text] / F.S. Zamaliev // Transport building. - 2013. - № 9. - P. 8-10.
 20. Zamaliev F.S. Experimental and theoretical studies of steel-concrete structures under various types of loading [Text] / F.S. Zamaliev // Actual problems of building and road complex: a collection of articles of the International scientific-practical conference. - Yoshkar-Ola, 2013 - P. 124-130.