УДК 624.012 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-2-139-145

Влияние некоторых конструктивных параметров совмещенного армирования железобетонных балок при оценке их предельных состояний

И.В. Дудина[a], Г.А. Рамазанова[b], Е.В. Нестер[c]

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
[a]isf@brstu.ru, [b]gulnara_23-1990@mail.ru, [c]elena_nester@mail.ru
[a]https://orcid.org/0000-0001-6047-4839, [b]https://orcid.org/0000-0001-5658-3135,
[c]https://orcid.org /0000-0002-5958-7630
Статья поступила 16.04.2018, принята 15.05.2018

Обеспечение надежности и уменьшение материалоемкости железобетонных конструкций заводского изготовления относятся к числу основных проблем, связанных с непрерывно увеличивающимся в нашей стране объемом строительства и возрастающими требованиями к его качеству. В связи с этим следует отметить, что достаточно востребованными и экономичными являются железобетонные предварительно напряженные конструкции с совмещенной рабочей арматурой (напрягаемой и ненапрягаемой). В настоящее время не существует единой методики расчета, позволяющей точно оценить напряженно-деформированное состояние данных конструкций на всех этапах нагружения, вплоть до разрушения. В статье рассматриваются основные положения нелинейной расчетной модели на основе диаграммного подхода, с помощью которой можно с точностью исследовать влияние некоторых конструктивных параметров железобетонных балок со смешанным армированием при оценке их предельных состояний. В свою очередь, это позволит с помощью вероятностных расчетов выполнить оптимизацию исследуемых железобетонных конструкций. По разработанной программе на основе нелинейно-деформационной модели был проведен численный эксперимент, в ходе которого, во-первых, оценивалось влияние коэффициента Kp, учитывающего уровень частичного преднапряжения, на жесткостные характеристики исследуемых балок и, во-вторых, проводился анализ влияния величины предварительного напряжения арматуры σsp на контролируемые показатели балок (прогибы и ширину раскрытия трещин). Для более точной оценки результатов численного моделирования выполнялся вероятностный расчет с определением показателей начальной надежности экспериментальных балок, что позволяет выявить резервы снижения их материалоемкости.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; совмещенное армирование; коэффициент частичного преднапряжения; предельное состояние; нелинейно-деформационная модель; оценка надежности.

Influence of some design parameters of the combined reinforcement of concrete beams in assessing their limit states

I.V. Dudina[a], G.A. Ramazanova[b], E.V. Nester[c]

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia
[a]isf@brstu.ru, [b]gulnara_23-1990@mail.ru, [c]elena_nester@mail.ru
[a]https://orcid.org/0000-0001-6047-4839, [b]https://orcid.org/0000-0001-5658-3135,
[c]https://orcid.org /0000-0002-5958-7630
Received 16.04.2018, accepted 15.05.2018

Ensuring reliability and reducing the material consumption of prefabricated reinforced concrete structures are among the main problems associated with the continuously increasing volume of construction in our country and the increasing demands on its quality. In this connection, it should be noted that reinforced concrete prestressed structures with combined working armature (strained and non-tensioning) are quite popular and economical. At the present time, there is no single calculation methodology that allows one to accurately assess the stress-strain state of these structures at all stages of loading, up to destruction. The paper considers the main provisions of the nonlinear calculation model on the basis of the diagrammatic approach, with the help of which it is possible to accurately investigate the effect of some structural parameters of reinforced concrete beams with mixed reinforcement in evaluating their limiting states. In turn, this will allow, using probabilistic calculations, to optimize the investigated jelly-concrete structures. According to the developed program, a numerical experiment was performed on the basis of a nonlinear deformation model, during which, firstly, the influence of the coefficient Kp, which takes into account the partial pre-stress level, on the stiffness characteristics of the beams studied, was evaluated and, secondly, the stresses of the reinforcement σsp on the controlled parameters of the beams (deflections and the width of the opening of the cracks). To more accurately evaluate the results of numerical simulation, a probabilistic calculation was carried out with determination of the initial reliability indices of the experimental beams, which makes it possible to reveal the reserves of reducing their material consumption.

Key words: reinforced concrete structures, combined reinforcement, partial pre-stress factor, limit state; nonlinear deformation model, reliability evaluation.

Введение

Основная цель при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций заключается в обеспечении их надежности и экономичности. Это достигается путем использования прогрессивных конструкций заводского изготовления, в частности - конструкций с совмещенным армированием, в которых наряду с предварительно напряженной арматурой в качестве рабочей применяется также ненапрягаемая арматура. Применение железобетонных конструкций с совмещенным армированием дает возможность в значительной степени снизить расход высокопрочной арматуры (в среднем на 15 - 20%) [1, 2]. Для обеспечения непрерывного технологического процесса на заводах ЖБИ важным аспектом применения конструкций со смешанным армированием является возникновение производственной потребности в замене требуемого класса арматуры ввиду его отсутствия другим [3, 4]. Экономичность железобетонных конструкций заводского изготовления с совмещенным армированием обусловлено также тем, что при снижении количества напрягаемой арматуры появляется возможность снижения массы силовых форм, что в целом приводит к снижению технологической энергоемкости производства [2].

Вопросам исследования напряженного состояния и совершенствования методов расчета конструкций с совмещенным армированием посвящено достаточное количество теоретических и экспериментальных работ [4-7]. Но при этом нет единой методики расчета указанных конструкций, с помощью которых можно оценить их напряженно-деформированное состояние (НДС) на всех этапах нагружения вплоть до стадии разрушения, а также получить оценку их надежности, используя вероятностные модели [6, 7, 12-13].

Конструкции со смешанным армированием работают в условиях сложного напряженного состояния, что, соответственно, оказывает влияние на характер нелинейного деформирования железобетона, в результате чего снижается точность и надежность проектных решений. Таким образом, построение методов расчета, моделирование НДС конструкций со смешанным армированием и оценка их надежности являются востребованными и актуальными задачами современного проектирования [4, 5, 7]. Для исследования НДС предварительно напряженных конструкций, включая конструкции со смешанным (совмещенным) армированием, целесообразно использовать следующие расчетные модели:

- расчет по предельным состояниям в соответствии с нормами проектирования железобетонных конструкций [2, 3];
- расчет на основе диаграммного подхода, т.е. учитывающего реальные диаграммы деформирования материалов (нелинейно-деформационная модель) [3, 6- 9].

Методика исследования. На основании экспериментальных исследований развитие расчетных моделей железобетонных конструкций обусловлено необходимостью учета неупругих деформаций, главным образом учета физической нелинейности конструкционных материалов [3-9]. Расчет железобетонных конструкций по нормам проектирования в предельном состоянии в 1,5-2 раза занижает прогибы и величину раскрытия трещин [3-5], что не позволяет дать объективную оценку НДС конструкций в целом. Это объясняется тем, что нелинейность материалов при расчете по СНиП учитывается, в основном, только с помощью эмпирических формул [3, 4]. Также в расчетах на основе норм проектирования не учитываются возможность перераспределения усилий между разными видами арматуры [1, 4, 5] и различные параметры сцепления с бетоном арматуры разных классов [1-2, 5].

При расчете по нелинейно-деформационной модели учет физической нелинейности производится с помощью диаграмм состояния бетона и арматуры и применения шагово-итерационного метода, реализующего способ упругих решений на каждом этапе нагружения [4, 5, 8]. При этом рассматриваются условия равновесия поперечного сечения в дискретном виде: сечение разбивается на дискретные участки бетона и арматуры (рис.1), в пределах которых деформации считаются равномерно распределенными.

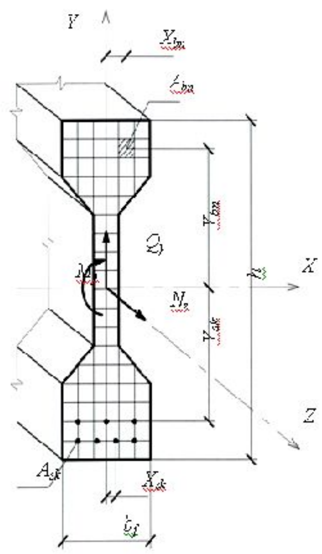

Рис. 1. Расчетная схема нормального сечения железобетонной балки в дискретном виде

Нелинейная система уравнений равновесия НДС дискретного сечения записывается согласно [4-8] следующим образом:

$$\begin{cases} N_z = \sum_n \sigma_{bn} \cdot A_{bn} + \sum_k \sigma_{sk} \cdot A_{sk} \\ M_y = -\sum_n \sigma_{bn} \cdot A_{bn} \cdot y_n - \sum_k \sigma_{sk} \cdot A_{sk} \cdot y_k \\ Q_y = \sum_n 1{,}5 \cdot \tau_{bn} \cdot A_{bn} \end{cases} \qquad (1)$$

где N_z – продольная сила в направлении продольной оси элемента;

M_y, Q_y – соответственно изгибающий момент и поперечная сила в поперечном сечении элемента.

Решение данной нелинейной системы получается в виде последовательности решений линейных задач, сходящихся к результату в процессе итерационного расчета [8].

Предложенная для расчета железобетонных конструкций со смешанным армированием нелинейно-деформационная модель дает возможность сблизить результаты расчетов с фактическими характеристиками НДС, что является важной задачей при оптимизации железобетонных конструкций со смешанным армированием, включая исследования влияния некоторых конструктивных параметров на НДС конструкций, в частности:

- коэффициента частичного преднапряжения на жесткостные характеристики [7, 9];
- уровня преднапряжения при оценке их предельных состояний [5, 6].

1. Оценка влияния коэффициента, учитывающего частичное преднапряжение арматуры на жесткостные характеристики исследуемых конструкций. Для оценки влияния некоторых параметров смешанного армирования железобетонных балок были выбраны 3 серии. В каждой серии рассматривались типовые балки марок 2БСП12-5АтVIк-н (Серия I), 2БСП12-6Ат-VIк-н (Серия II), 2БСП12-4А-IIIв (Серия III) и на их основе экспериментальные модели [5, 7], данные по совмещенному армированию которых представлены в табл.1.

Таблица 1

Параметры типовых и экспериментальных балок

	Марка балки	Напрягаемая арматура	Ненапрягаемая арматура	K_p	Класс бетона
Серия I	2БСП12-5АтVIк-н Серия 1.462.1-1/88	6∅18 Ат-VI (Ат1000)	2∅18 Ат-VI (Ат1000)	0,75	В40
	Модель I	8∅18 Ат-VI (Ат1000)	-	1,00	
	Модель II	4∅18 Ат-VI (Ат1000)	4∅18 Ат-VI (Ат1000)	0,50	
	Модель III	-	8∅18 Ат-VI (Ат1000)	0,00	
	Модель IV	6∅18 Ат-VI (Ат1000)	4∅18 А-III (А400)	0,75	
Серия II	2БСП12-6АтVIк-н Серия 1.462.1-1/88	7∅18 Ат-VI (Ат1000)	2∅18 Ат-VI (Ат1000)	0,78	В40
	Модель I	9∅18 Ат-VI (Ат1000)	-	1,00	
	Модель II	5∅18 Ат-VI (Ат1000)	4∅18 Ат-VI (Ат1000)	0,55	
	Модель III	2∅18 Ат-VI (Ат1000)	7∅18 Ат-VI (Ат1000)	0,22	
Серия III	2БСП12-4АIIIв Серия 1.462.1-1/88	5∅22 А-IIIв (А500)	1∅22 А-IIIв (А500)	0,83	В35
	Модель I	6∅22 А-IIIв (А500)	-	1,00	
	Модель II	3∅22 А-IIIв (А500)	3∅22 А-IIIв (А500)	0,50	
	Модель III	2∅22 А-IIIв (А500)	4∅22 А-IIIв (А500)	0,33	

Численное моделирование по оценке влияния разных конструктивных параметров на характеристики НДС исследуемых конструкций, а также на их надежность выполнялось с помощью программного комплекса SMARCON, разработанного на кафедре СКиТС ФГБОУ ВО «БрГУ» [7, 10-13]. С помощью данного программного комплекса можно выполнять расчеты как на детерминированной, так и на вероятностной основе, при этом объективно и достоверно получить оценку эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций [13-15].

Используя результаты численного моделирования по данной программе, можно осуществлять рациональный выбор классов совмещенной арматуры [7, 9] и оптимальный уровень преднапряжения σ_{sp} напрягаемой арматуры.

Схемы армирования экспериментальных балок выбирались из условия обеспечения одинаковой несущей способности с типовыми балками [5-7]. При этом геометрические параметры балок, расположение совмещенной рабочей арматуры, величины контрольных нагрузок приняты аналогично типовым конструкциям. Для всех исследуемых балок вычислялся коэффициент, учитывающий частичное преднапряжение совмещенной арматуры с учетом долей напрягаемой и ненапрягаемой арматуры [1, 5-7]:

$$K_p = \frac{\sigma_{02} A_{sp}}{\sigma_{02} A_{sp} + \sigma_{02}^{A_s} A_s} \qquad (2)$$

В качестве контролируемых параметров экспериментальных балок были приняты величина прогиба и ширина раскрытия трещин при различных коэффициентах K_p. При проектировании конструкций со смешанным армированием целесообразно устанавливать оптимальное значение коэффициента K_p для обеспечения требуемой прочности, жесткости и трещиностойкости [5-7].

Исходя из выполненного анализа влияния коэффициента K_p на НДС конструкций установлено, что с увеличением доли ненапрягаемой арматуры увеличиваются прогиб балок, ширина раскрытия трещин, а также снижается момент трещинообразования (рис. 2-4). Поэтому целесообразно делать вывод об эксплуатационной пригодности конструкций со смешанным армированием из условия требований второй группы предельных состояний (по жесткости и трещиностойкости) [1, 5-7, 9].

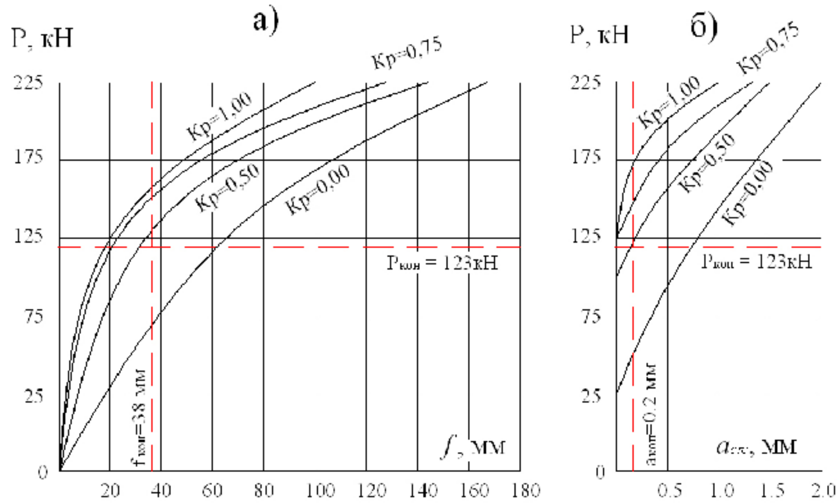

Рис. 2. Влияние коэффициента K_p на кинетику развития прогибов а) и трещин б) в балке 2БСП12-5АтVIк-н

На основании полученных результатов оценки прогибов для разных типов балок (рис. 3) установлена область минимальных значений коэффициента частичного преднапряжения для обеспечения допустимых прогибов:

- для балки 2БСП12-5АтVIк-н ($f_{кон}=38мм$) – при $K_p \geq 0{,}48$;

- для балки 2БСП12-6АтVIк-н ($f_{кон}=40мм$) – при $K_p \geq 0{,}58$;

- для балки 2БСП12-4АIIIв ($f_{кон}=36мм$) – при $K_p \geq 0{,}78$.

Аналогичный анализ был выполнен для исследуемых балок по обеспечению контрольной ширины раскрытия трещин (рис.4) в зависимости от коэффициента K_p. В среднем для всех балок нормативное значение контрольной ширины раскрытия трещин $a_{кон}$=0,2 *мм* было обеспечено при $K_p \geq 0{,}65$ [4-7].

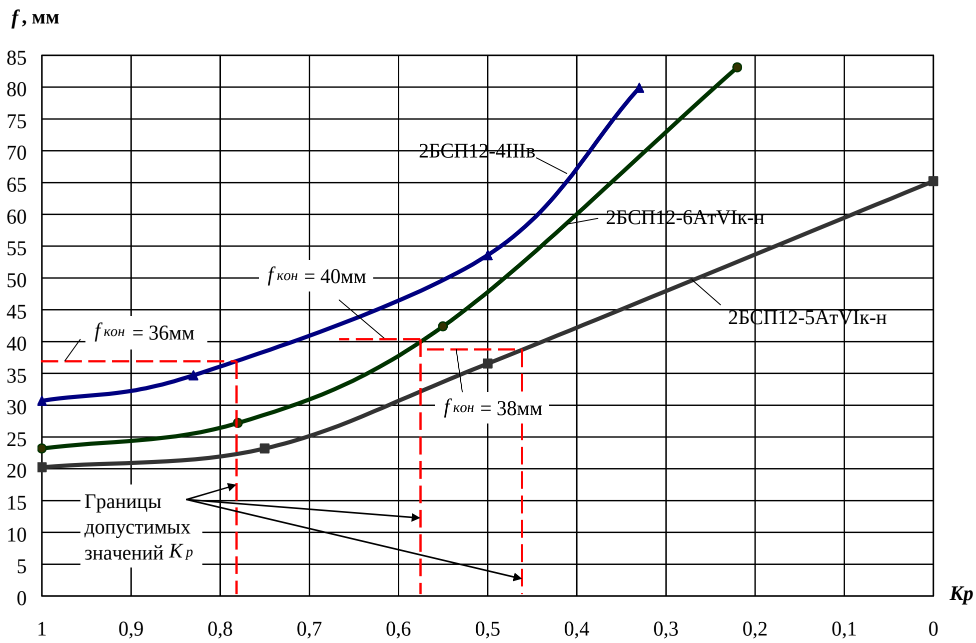

Рис. 3. Оценка влияния коэффициента K_p на прогибы балок при нагрузке контрольной по жесткости

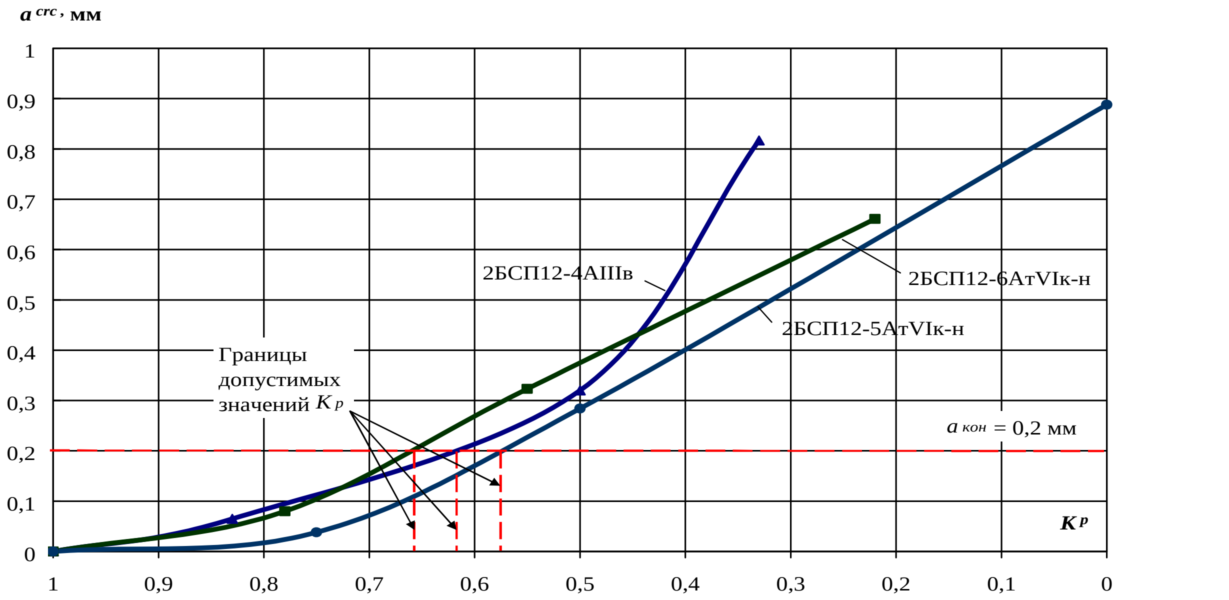

Рис. 4. Оценка влияния коэффициента K_p на раскрытие трещин в исследуемых балках при нагрузке контрольной по трещиностойкости

На основании выполненного анализа результатов численного моделирования по всем балкам трех рассмотренных серий (типовых и экспериментальных) можно сделать вывод о влиянии коэффициента K_p, учитывающего частичное преднапряжение в совмещенной арматуре, на жесткостные параметры исследуемых конструкций с точки зрения удовлетворения второй группы предельных состояний. В среднем для всех балок значение оптимального коэффициента K_p находится в диапазоне 0,65-0,75. В этом случае конструкции имеют более низкую деформативность и достаточно высокую трещиностойкость, что по характеру НДС приближает их к полностью преднапряженным конструкциям, для которых K_p=1 [1, 2, 5-7].

Но вместе с тем следует отметить, что прогибы в этом случае для конструкций с совмещенным армированием увеличиваются на 18-22%, а ширина раскрытия трещин на 12-15% по сравнению с преднапряженными конструкциями. Конструкции с совмещенным армированием при K_p<0,5 по своим деформационным свойствам приближаются к непреднапряженным элементам и являются малоэффективными с точки зрения обеспечения жесткостных параметров. Для более точного определения оптимального коэффициента K_p для той или иной конструкции необходимо выполнять расчет также на вероятностной основе [10-15].

2. Анализ влияния уровня преднапряжения арматуры σ_{sp} на НДС конструкций с совмещенным армированием при оценке их предельных состояний. При выполнении численного моделирования исследуемых железобетонных балок с разным соотношением напрягаемой и ненапрягаемой арматуры был выполнен анализ определения минимальной величины уровня преднапряжения σ_{sp} напрягаемой арматуры для обеспечения требований второй группы предельных состояний, то есть жесткости и трещино-стойкости [6, 7, 9]. На рис. 5 - 6 показано влияние σ_{sp} на изменение прогибов и трещин балки 2БСП12-6АтVк-н при контрольных нагрузках (по прочности, жесткости, трещиностойкости) и при фактической разрушающей нагрузке, полученной при натурных испытаниях данной балки. Был исследован диапазон изменения σ_{sp} от минимального значения ($\sigma_{sp} = 300$ *МПа*) до максимального значения ($\sigma_{sp} = 900$ *МПа*) для арматуры класса Ат1000 [6, 7, 9]. Для обеспечения требований второй группы предельных состояний оптимальной будет величина предварительного напряжения для данной балки $\sigma_{sp} \geq 500$ *МПа*. На основании выполненных вероятностных расчетов для обеспечения условий прочности, жесткости, трещиностойкости целесообразно для данной исследуемой балки принять $\sigma_{sp} = 700$ *МПа* [6, 7, 9].

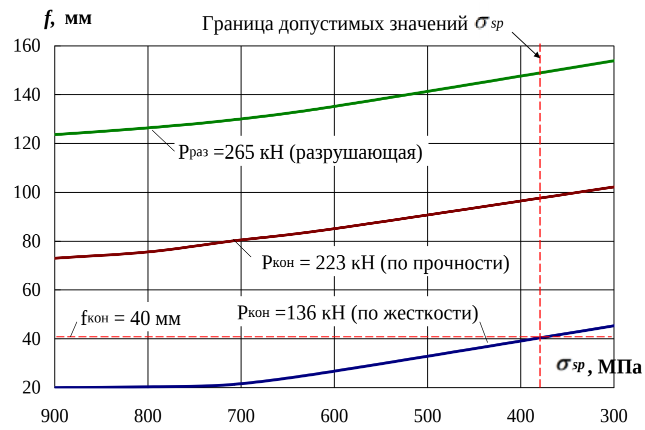

Рис. 5. Влияние величины σ_{sp} на прогиб балки 2БСП12-6АтVIк-н при контрольных нагрузках

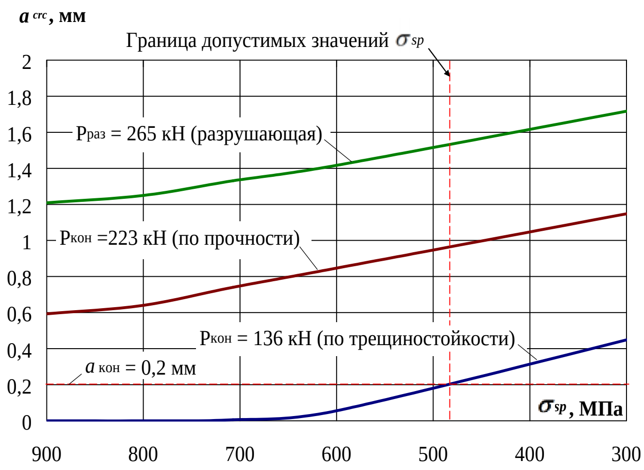

Рис. 6. Влияние величины σ_{sp} на ширину раскрытия трещин в балке 2БСП12-6АтVIк-н при контрольных нагрузках

Если в качестве ненапрягаемой используется высокопрочная арматура, то напряжение в ней к моменту разрушения конструкций составляет всего 60-70% от предела прочности [4]. Поэтому на основании выполненных исследований в качестве ненапрягаемой арматуры в совмещенном армировании целесообразно использовать арматуру класса А 400, которая к моменту разрушения конструкции достигает предела текучести [4, 5].

На основе разработанных программных комплексов по вероятностному расчету конструкций со смешанным армированием с учетом физической нелинейности была выполнена оценка начальной надежности исследуемых балок [3-9]. Требуемые уровни надежности для балок приняты по прочности $[H_1]$ = 0,9986, по жесткости и трещиностойкости $[H_2] = [H_3]$ = 0,90 [3-4, 11-12].

Анализ результатов, представленных в табл. 2, показывает, что надежность балки 2БСП12-5АтVIк-н и ее экспериментальных моделей не обеспечена только для балок моделей II и III (коэффициент $K_p \leq 0{,}5$). Все остальные исследуемые конструкции имеют существенный запас прочности, а, следовательно, и резервы для снижения их материалоемкости [5, 7].

Таблица 2

Показатели начальной надежности исследуемых балок по разным расчетным моделям

Марка конструкции	Расчет на основе СНиП			Расчет по нелинейно-деформационной модели		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
2БСП12-5АтVIк-н (*Kp=0,75*)	0,9999	0,9989	0,9988	0,9999	0,9987	0,9986
Модель I (*Kp=1,00*)	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
Модель II (*Kp=0,50*)	0,9999	0,9452	0,9251	0,9999	0,9366	0,8965
Модель III (*Kp=0,00*)	0,9999	0,9223	0,8263	0,9999	0,9125	0,8125
Модель IV (*Kp=0,75*)	0,9999	0,9982	0,9979	0,9999	0,9985	0,9984

Выводы

На основании выполненных исследований для железобетонных балок с совмещенным армированием установлена область оптимальных значений коэффициента K_p из условия обеспечения требований второй группы предельных состояний (K_p=0,65…0,75). Конструкции с более низким содержанием ненапрягаемой арматуры (K_p<0,5) являются неэффективными и по своим деформационным свойствам приближаются к ненапрягаемым элементам.

Установлено, что степень использования механических характеристик совмещенной арматуры зависит от уровня начального преднапряжения σ_{sp}. Чем меньше σ_{sp}, тем полнее используются прочностные свойства ненапрягаемой арматуры. Следует отметить, что при оптимальных значениях σ_{sp} наиболее полно использует свою прочность ненапрягаемая арматура класса А400, напряжения в которой к моменту разрушения достигают предела текучести, в то время как напряжения в ненапрягаемой высокопрочной арматуре к моменту разрушения достигают всего лишь (0,6…0,7) временного сопротивления разрыву [4].

Таким образом, для более точного определения оптимальных конструктивных параметров совмещенного армирования железобетонных балок (коэффициента K_p, уровня преднапряжения арматуры σ_{sp}, рационального выбора класса ненапрягаемой арматуры) необходимо выполнять вероятностную оценку их предельных состояний с учетом физической нелинейности конструкционных материалов, то есть с учетом реальных диаграмм состояния бетона и арматуры. Это позволит более точно оценить НДС конструкции на всех этапах ее работы до разрушения, а также получить показатели надежности, на основании которых можно выявить резервы снижения материалоемкости конструкции и выполнить ее оптимизацию по разработанным программам, используя моделирование влияния рассмотренных параметров при оценке предельных состояний конструкции [3-9].

Литература

1. Головин Н.Г., Назар Камель А. Определение классов арматуры при смешанном армировании // Бетон и железобетон. 1992. №6. С. 8-9.

2. Габрусенко В.В. Особенности проектирования плит со смешанным армированием // Изв. вузов. Строительство. 1992. № 9-10. С. 10-13.

3. Kovalenko G.V., Samarin Y.A. Mitasov V.M. Evaluation jf the stress-strain State of Rissed Slabs different settlement pat-

terns. Proceedings of the Universities // Construction. Architecture. Transport. 1990. № 11. С. 116-121.

4. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Учет нелинейных свойств материалов при расчете конструкций со смешанным армированием // Бетон и железобетон. 2003. № 2. С. 11–12.

5. Дудина И.В., Нестер Е.В., Рамазанова Г.А. Совершенствование методов расчета железобетонных конструкций со смешанным армированием // Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно – коммунальном и дорожном комплексах: материалы 3-й междунар. науч. – практической конф. / Брян. гос. инж.-технол. акад. Брянск, 2013. С. 265-269.

6. Коваленко Г.В., Меньщикова Н.С. Анализ результатов компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния железобетонных балок со смешанным армированием и оценка их надежности на основе нелинейно-деформационной модели // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 4 (24). С. 93-97.

7. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Nester E.V. Chance models and estimators of primary reability of constructions with mixed reinforcement // European Science and Technology: materials of the international research and practice conference, Vol. I. Wiesbaden, January 31st, 2012. Wiesbaden, 2012. P. 237-243.

8. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416с.

9. Коваленко Г.В., Меньщикова Н.С. Учет физической нелинейности железобетона при оценке изменения изгибной жесткости конструкций со смешанным армированием// Системы Методы Технологии. 2010. № 1 (5). С.63-67.

10. Ditltvsen O. Stochastic model of self- weigh load // J. jfStrucht. Engineering, ASCE. 1998. Vol.113, № 1. 1998. P. 38-49.

11. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: изд.-во АВС, 2010. 384 с.

12. Коваленко Г.В., Корда Я.В. Применение вероятностных методов в строительном проектировании// Труды Братского госуд. университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 3. С.171-174.

13. Жердева С.А., Коваленко Г.В., Курамшина Р.П. Актуальность применения вероятностных методов при интегральной оценке надежности железобетонных конструкций на стадии изготовления// Фундаментальные исследования. 2007. № 1. С. 42-43.

14. Kaverzina L., Kovalenko G., Dudina I., Belskii O. Cost Efficiency Assessment of Automated Quality Control of Pecast structures // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 143.

15. Коваленко Г.В., Калаш О.А. Вероятностная модель при автоматизированном способе оценки надежности железобетонных конструкций заводского изготовления // Системы Методы Технологии. 2009. № 1. С. 81-84.

References

1. Golovin N.G., NazarKamel' A.Definition of classes of reinforcement with mixed reinforcement // Betonizhelezobeton. 1992. № 6. P. 8-9.

2. Gabrusenko V.V.Features of the design of plates with mixed reinforcement //Newsofhighereducationalinstitutions. Construction. 1992. № 9-10. P. 10-13.

3. Kovalenko G.V., Samarin Y.A. Mitasov V.M. Evaluation of the stress-strain State of Rissed Slabs different settlement patterns. Proceedings of the Universities // Construction. Architecture. Transport. 1990. № 11. P. 116-121.

4. Tamrazyan A.G., Dudina I.V.Accounting for non-linear properties of materials in the calculation of structures with mixed reinforcement // Betonizhelezobeton. 2003. № 2. P. 11-12.

5. Dudina I.V., Nester E.V., Ramazanova G.A.Perfection of methods for calculating reinforced concrete structures with mixed reinforcement // Problemy innovacionnogo biosferno-sovmestimogo social'no-ehkonomicheskogo razvitiya v stroitel'nom, zhilishchno-kommunal'nom i dorozhnom kompleksah: materialy 3-j mezhdunar. nauch. -prakticheskoj konf. / Bryan. gos. inzh.-tekhnol. akad. Bryansk, 2013. P. 265-269.

6. Kovalenko G.V., Men'shchikova N.S.Analysis of the results of computer simulation of stress-strain state of reinforced concrete beams with mixed reinforcement and an estimation of their reliability on the basis of a nonlinear deformation model //Moderntechnologies. System analysis. Modeling. 2009. № 4 (24). P. 93-97.

7. Kovalenko G.V., Dudina I.V., Nester E.V. Chance models and estimators of primary reability of constructions with mixed reinforcement // European Science and Technology: materials of the international research and practice conference, Vol. I. Wiesbaden, January 31st, 2012. Wiesbaden, 2012. P. 237-243.

8. Karpenko N.I.General models of mechanics of reinforced concrete. M.: Strojizdat, 1996. 416 p.

9. Kovalenko G.V., Men'shchikova N.S.Accounting for the physical nonlinearity of reinforced concrete when assessing the change in the flexural rigidity of structures with mixed reinforcement //Systems Methods Technologies. 2010. № 1 (5). P. 63-67.

10. Ditltvsen O. Stochastic model of self- weigh load // J. jfStrucht. Engineering, ASCE. 1998. Vol.113, № 1. 1998. P. 38-49.

11. Rajzer V.D.Theory of the Reliability of Structures. M.: izd.-vo ABC, 2010. 384p.

12. Kovalenko G.V., Korda YA.V.Application of probabilistic methods in building design // Trudy Bratskogogosud. universiteta. Ser. Estestvennyeiinzhenernyenauki. 2012. T. 3. P. 171-174.

13. Zherdeva S.A., Kovalenko G.V., Kuramshina R.P. Urgency of the application of probabilistic methods in the integral evaluation of the reliability of reinforced concrete structures at the stage of fabrication//Fundamentalresearch. 2007. № 1. P. 42-43.

14. Kaverzina L., Kovalenko G., Dudina I., Belskii O. Cost Efficiency Assessment of Automated Quality Control of Pecast structures // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 143.

15. Kovalenko G.V., Kalash O.A.Probabilistic model with an automated method for assessing the reliability of prefabricated reinforced concrete structures //Systems Methods Technologies. 2009. № 1. P. 81-84.