

УДК 624.012

ФЕДОРОВ В.С., КРАСОВИЦКИЙ М.Ю., ЛЕВИТСКИЙ В.Е.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН ПО СТАРЫМ И НОВЫМ НОРМАМ

Дан краткий сравнительный анализ основных расчётных положений СП 63.13330.2012, показывающий, что выполняемые в соответствии с ним расчёты дают больший запас прочности и трещиностойкости по сравнению с ранее действовавшим СНиП 2.03.01-84. Однако необоснованное отсутствие в методике нового СП ряда понижающих коэффициентов в расчёте по образованию трещин предварительно напряжённых железобетонных элементов приводит к завышению момента трещинообразования в эксплуатационной стадии по сравнению с расчётом по прежним нормам. Представляется, что в новом СП следовало бы учесть в расчёте по образованию трещин условия, вызывающие необходимость использования коэффициентов λ и γ_{sp} , с тем, чтобы соответствовать общей тенденции СП: в запас прочности и в запас трещиностойкости.*

Ключевые слова: момент трещинообразования, упругопластический момент сопротивления, отклонения предварительного напряжения, начальные трещины в сжатой зоне

Действующий СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» разработан авторским коллективом НИИЖБ им. А.А. Гвоздева при участии РААСН и ОАО «ЦНИИПромзданий» и является актуализированной редакцией СНиП 52-01-2003. Он входит в перечень обязательной нормативно-технической литературы, применение которой гарантирует выполнение требований, установленных Федеральными законами №184-ФЗ «О техническом регулировании» и №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

По сравнению с ранее действовавшим СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции» новый Свод правил отличается более осторожным подходом к расчёту и проектированию таких конструкций, причём как с обычным армированием, так и предварительно напряжённых. Так, например, для арматуры произошло повышение коэффициентов надёжности по материалу, что привело к уменьшению значений расчётных сопротивлений растяжению R_s . Для бетона при кратковременном действии нагрузки коэффициент условий работы γ_{b1} принят равным 1,0, а ранее его значение равнялось 1,1, что также приводит к снижению расчётных сопротивлений бетона сжатию R_b и растяжению R_{bt} в случае действия такой нагрузки. Кроме этого, для ряда классов бетона по прочности на сжатие (В15-В30) понижены значения нормативных сопротивлений бетона растяжению $R_{bt,n}$, что, безусловно, приводит к снижению в расчётах момента трещинообразования M_{crc} . Значение граничной относительной высоты сжатой зоны бетона ξ_R теперь зависит только от класса арматуры и не зависит ни от класса бетона, фактическая предельная сжимаемость которого уменьшается с ростом прочности, ни от характера действия нагрузки, учитываемого коэффициентом условий работы γ_{b1} . В результате значения ξ_R для бетонов низкой и средней прочности стали существенно меньше, чем были ранее. Как отмечается в статьях В.В. Габрусенко [1-7], опубликованных в журнале «Проектирование и строительство в Сибири» в 2006-2008 г.г., в ряде случаев такой подход даёт дополнительный запас прочности по сравнению с результатами расчёта по старым нормам.

Аналогичный запас прочности и параллельно увеличение расхода материалов даёт расчёт прочности наклонных сечений на действие поперечных сил, когда на 25%, как минимум, расчётная несущая способность таких сечений оказывается ниже по сравнению с несущей способностью, определяемой по старым нормам. Это требует увеличения диаметра поперечной арматуры, что с уменьшением максимально допустимого её шага в сварных каркасах с $20 \cdot d_s$ до $15 \cdot d_s$ и рядом других положений действующего СП приводит, как уже отмеча-

лось, к повышению расхода материалов. В этом же направлении можно рассматривать и ограничение расчётного сопротивления растяжению поперечной арматуры R_{sw} величиной 300 МПа.

Можно долго перечислять отличия новых норм от старых, однако это не входит в задачу настоящей статьи. Вышеизложенный краткий сравнительный анализ приведён лишь для того, чтобы подчеркнуть, что расчёт и конструирование по действующему СП приводит к повышению надёжности проектируемых бетонных и железобетонных конструкций. Причём это относится не только к расчётам прочности по нормальным и наклонным сечениям, но и к расчётам прочности на местное действие нагрузки (местное сжатие, продавливание), и к расчётам по образованию трещин для конструкций с обычным армированием.

В последнем случае для центрально растянутых элементов продольное растягивающее усилие, воспринимаемое элементом при образовании трещин N_{crc} , действующий СП предлагает определять по формуле $N_{crc} = A_{red} \cdot R_{bt,ser}$, где $A_{red} = A + \alpha_s \cdot (A_s + A'_s)$. В СНиП 2.03.01-84* величину N_{crc} вычисляем как $N_{crc} = R_{bt,ser} \cdot [A + 2 \cdot \alpha_s \cdot (A_s + A'_s)]$. Таким образом, в СП в формуле исключён коэффициент «2», что направлено в запас трещиностойкости.

В запас трещиностойкости в СП также приняты пониженные значения коэффициента γ , с помощью которого нормы допускают определять упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона $W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}$, где W_{red} – упругий момент сопротивления приведённого сечения по его растянутой зоне. Для прямоугольных и тавровых сечений с полкой в сжатой зоне такое понижение составляет 25%. Для тавровых сечений с полкой в растянутой зоне и двутавровых сечений (симметричных и несимметричных) в зависимости от соотношения размеров полок и стенки указанное понижение также может достигать 25%.

Как видно из приведённого материала, такова общая тенденция построения нового СП: в запас прочности и в запас трещиностойкости.

Однако, исключением из этой тенденции является расчёт по образованию трещин предварительно напряжённых железобетонных конструкций. В этом случае, как известно, изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин, определяют по формуле: $M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm P \cdot (e_{0p} + r)$, где знак «+» принимается при проверке трещинообразования в нижних волокнах сечения в эксплуатационной стадии, а знак «–» – при проверке трещинообразования верхних волокон сечения в стадии предварительного обжатия. В первом случае $P = P_{(2)}$ – усилие обжатия с учётом полных потерь предварительного напряжения арматуры, а во втором случае $P = P_{(1)}$ – усилие обжатия с учётом только первых потерь. В п. 9.2.6 нового СП зафиксировано, что при расчёте прочности возможные отклонения предварительного напряжения учитывают путём умножения усилий обжатия на коэффициент γ_{sp} , равный 0,9 при благоприятном влиянии предварительного напряжения (фактически при расчёте по образованию трещин в стадии эксплуатации и использовании усилия обжатия $P_{(2)}$), или равный 1,1 при его неблагоприятном влиянии (фактически при расчёте по образованию трещин в стадии предварительного обжатия и использовании усилия обжатия $P_{(1)}$). О применении коэффициента γ_{sp} в других расчётах в СП не упоминается.

В прежних нормах проектирования также использовался аналогичный коэффициент γ_{sp} , но не только при расчёте прочности, то есть фактически при вычислении значения ξ_R , но и при расчёте по образованию трещин. Только при вычислении потерь предварительного напряжения арматуры, а также при расчёте по раскрытию трещин и по деформациям п. 1.27 СНиП 2.03.01-84* допускал принимать $\gamma_{sp} = 1,0$. Таким образом, новый СП, не учитывая коэффициент γ_{sp} при образовании трещин (то есть фактически принимая его равным единице), повышает второе слагаемое в формуле для момента трещинообразования на 10% как в стадии эксплуатации, так и в стадии предварительного обжатия. Если же учесть ещё и тот факт, что новый СП предлагает вычислять радиус ядра сечения r для внецентренно сжатых, внецентренно растянутых и изгибаемых предварительно напряжённых элементов как $r = W_{red}/A_{red}$, то есть без понижающего коэффициента $0,7 \leq \phi \leq 1$, как это предусматривал

СНиП 2.03.01-84* (определение коэффициента ϕ по старым нормам требовало нескольких вычислительных операций), то повышение второго слагаемого в формуле для момента трещинообразования оказывается более 10%.

Кроме этого, п. 4.6* СНиП 2.03.01-84* устанавливал, что при расчёте по образованию трещин элементов на участках с начальными трещинами в сжатой от эксплуатационных нагрузок зоне, возникающих в стадии предварительного обжатия, транспортирования и возведения, значение M_{crc} для зоны, растянутой от действия внешней нагрузки, следует снижать на $\Delta M_{crc} = \lambda \cdot M_{crc}$, то есть момент трещинообразования вычислять по формуле $M_{crc} \cdot (1 - \lambda)$. Новый СП такой проверки и, соответственно, снижения величины M_{crc} не предусматривает. В результате расчёт момента трещинообразования в эксплуатационной стадии по новому СП может привести к его повышению по сравнению с ранее действовавшим СНиП 2.03.01-84*, так как при $\lambda > 0,15$ и $\gamma_{sp} = 0,9$ снижение коэффициента γ на 25% не «перекроет» прежнего влияния на расчёт коэффициентов λ и γ_{sp} . Так, в «Пособии по проектированию предварительно напряжённых железобетонных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов (к СНиП 2.03.01-84*)» в примере №31 приведён расчёт рёбристой предварительно напряжённой плиты перекрытия типа 2Т из тяжёлого бетона класса В25 шириной 95 см, высотой 35 см, армированной в нижней растянутой зоне напрягаемой арматурой в виде 2Ø25А-IV (в рёбрах), а также каркасами с нижней (2Ø10А-III) и верхней (2Ø8А-III) ненапрягаемой арматурой. Для такой плиты коэффициент λ составил 0,276, то есть снижение момента трещинообразования достигло 27,6%, а с учётом коэффициента $\gamma_{sp} = 0,9$ ещё больше, то есть более 25%.

Представляется, что в новом СП следовало бы учесть в расчёте по образованию трещин условия, вызывающие необходимость использования коэффициентов λ и γ_{sp} , с тем, чтобы соответствовать общей тенденции СП: в запас прочности и в запас трещиностойкости. Следует особо подчеркнуть, что после выхода СНиП II-21-75, предшествовавших СНиП 2.03.01-84, А.А. Гвоздевым с коллективом авторов в 1978 г. была издана книга «Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций», где подробно объяснялись отличия в расчётах и конструировании по ранее действовавшим СНиП II-V.1-62 от введенных в действие СНиП II-21-75. Существующий СП 63.13330.2012 введен в действие с 01 января 2013 г., то есть применяется в проектировании уже более четырёх лет, но, несмотря на многочисленные обсуждения научно-технической общественностью его расчётных положений [7-10], до настоящего времени не издано подобно книге А.А. Гвоздева документа, объясняющего принятые в СП и иногда неоднозначные с нашей точки зрения решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт нормальных сечений / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №4. – 2006. – С. 20-23.
2. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт наклонных сечений / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №6. – 2006. – С. 10-14.
3. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт прочности при местном действии нагрузки: расчёт на местное сжатие / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №2. – 2007. – С. 15-17.
4. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт прочности при местном действии нагрузки: расчёт на продавливание / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №5. – 2007. – С. 24-26.
5. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт трещиностойкости: расчёт по образованию трещин / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №6. – 2007. – С. 39-40.
6. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт трещиностойкости: расчёт по раскрытию трещин / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №2. – 2008. – С. 19-22.
7. Кодыш, Э.Н. Совершенствование нормативной базы проектирования железобетонных конструкций / Э.Н. Кодыш, Н.Н.Трекин // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – №6. – С. 25-28.

8. Гранёв, В.В. Разработка и актуализация нормативных документов по проектированию и строительству промышленных и гражданских зданий / В.В. Гранёв, Э.Н. Кодыш // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 7. – С. 9-12.

9. Бондаренко, В.М. К вопросу о потерях предварительного напряжения железобетонных конструкций / В.М. Бондаренко, Р.Е. Мигаль // Строительная механика и расчет сооружений. – 2014. – № 4 (255). – С. 2-5.

10. Травуш, В.И. Безопасность зданий и сооружений: грядут перемены / В.И. Травуш, Ю.С. Волков // Стандарты и качество. – 2016. – № 1. – С. 62-64.

Федоров Виктор Сергеевич

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II

Академик РААСН, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения»

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Красовицкий Михаил Юрьевич

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»

E-mail: krasovmu@rambler.ru

Левитский Валерий Евгеньевич

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»

E-mail: dobriy_vecher@mail.ru

V. FEDOROV, M. KRASOVICKIY, V. LEVITSKIY

COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION OF PRELIMINATED STRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FOR EARLY CRACKS ON OLD AND NEW NORMS

A brief comparative analysis of the main design provisions of SP 63.13330.2012 is given, showing that the calculations performed in accordance with it give a greater margin of strength and crack resistance in comparison with the previous SNiP 2.03.01-84. However, the unjustified absence of a number of lowering coefficients in the calculation of the formation of cracks in prestressed reinforced concrete elements in the new SP technique leads to an overestimation of the cracking moment compared with the calculation according to previous standards. It seems that in the new joint venture it would be necessary to take into account in the calculation of the formation of cracks conditions that require the use of the coefficients λ and γ_{sp} , so as to correspond to the overall trend of the joint venture: a safety margin and a crack resistance reserve.*

Key words: cracking moment, elastoplastic resistance moment, deviation of prestress, initial cracks in the compressed zone

BIBLIOGRAPHY

1. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnykh konstrukcij po novym normam. Raschjot normal'nyh sechenij / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №4. – 2006. – С. 20-23.

2. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnykh konstrukcij po novym normam. Raschjot naklonnyh sechenij / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №6. – 2006. – С. 10-14.

3. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnykh konstrukcij po novym normam. Raschjot prochnosti pri mestnom dejstvii nagruzki: raschjot na mestnoe szhatie / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №2. – 2007. – С. 15-17.

4. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnykh konstrukcij po novym normam. Raschjot prochnosti pri mestnom dejstvii nagruzki: raschjot na prodavlivanie / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №5. – 2007. – С. 24-26.

5. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot treshhinostojkosti: raschjot po obrazovaniju treshhin / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №6. – 2007. – S. 39-40.
6. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot treshhinostojkosti: raschjot po raskrytiju treshhin / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №2. – 2008. – S. 19-22.
7. Kodysh Je.N. Sovershenstvovanie normativnoj bazy proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij / Je.N. Kodysh, N.N. Trekin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2016. – №6. – S. 25-28.
8. Granjov V.V. Razrabotka i aktualizacija normativnyh dokumentov po proektirovaniju i stroitel'stvu promyshlennyh i grazhdanskix zdaniy / V.V. Granjov, Je.N. Kodysh // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – № 7. – S. 9-12.
9. Bondarenko V.M. K voprosu o poterjah predvaritel'nogo napryazhenija zhelezobetonnyh konstrukcij / V.M. Bondarenko, R.E. Migal' // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2014. – № 4 (255). – S. 2-5.
10. Travush V.I. Bezopasnost' zdaniy i sooruzhenij: grjadut peremeny / V.I. Travush, Ju.S. Volkov // Standarty i kachestvo. – 2016. – № 1. – S. 62-64.

V. Fedorov

Moscow State University of Communications of the Emperor Nicholas II
Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department «Building structures, buildings and structures»
E-mail: fvs_skzs@mail.ru

M. Krasovickiy

Moscow State University of Communications of the Emperor Nicholas II
Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department «Building Constructions, Buildings and Structures»
E-mail: krasovmu@rambler.ru

V. Levitskiy

Moscow State University of Communications of the Emperor Nicholas II
Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department «Building Constructions, Buildings and Structures»
E-mail: dobriy_vecher@mail.ru