

М.Б. КРАКОВСКИЙ^{1,✉}, И.Н. ТИХОНОВ²¹ ООО НПКТБ «ОПТИМИЗАЦИЯ», ул. Дмитрия Ульянова, д. 24, кв. 331,
г. Москва, 117036, Российская Федерация² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт
бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО СП 63.13330.2018

Аннотация

Введение. СП 63.13330.2018 предусматривает два подхода к расчету прочности нормальных сечений железобетонных конструкций: нелинейную деформационную модель НДМ (общий подход) и метод предельных усилий МПУ (для простых элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с арматурой, расположенной у граней элемента). Насколько известно авторам, подробных исследований по сопоставлению результатов, полученных при обоих подходах, не проводилось.

Цель. Провести исследование по сопоставлению результатов, получаемых при расчетах по НДМ и МПУ, выявить различия, установить их физическую причину, оценить экономические аспекты проблемы, дать необходимые рекомендации.

Материалы и методы. Расчеты проводили по программе «ОМ СНИП Железобетон». Исследования выполняли для трех типов конструкций. К первому типу относились четыре сечения элементов при двух напряженных состояниях: изгибе (тавровое и прямоугольное), внецентренном сжатии (прямоугольное и кольцевое). Второй тип конструкций включал балки, испытанные в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Третий тип – перемычки по ГОСТ 948-84. Во всех типах конструкций при действии одинаковых усилий подбирали армирование по НДМ и МПУ.

Результаты. Оказалось, что сжатая зона бетона в МПУ участвует в сопротивлении сечений действующим усилиям гораздо более эффективно, чем в НДМ. Это может приводить к существенной разнице в армировании. В одном из случаев расход стали при расчетах по МПУ оказался на 78 % меньше, чем по НДМ.

Выводы. Для рассмотренных конструкций расчет прочности нормальных сечений по МПУ оказался более эффективным, чем по НДМ. При этом все необходимые нормативные требования выполнены. Необходимы дальнейшие исследования для внесения поправок в действующие нормативные документы.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, нормальные сечения, расчет, прочность, нелинейная деформационная модель, метод предельных усилий, сопоставление результатов

Для цитирования: Краковский М.Б., Тихонов И.Н. Особенности расчетов нормальных сечений железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018 // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 5–11. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-5-11)

Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в постановку задачи, проведение исследований и оценку результатов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.07.2023

Поступила после рецензирования 28.07.2023

Принята к публикации 03.08.2023

M.B. KRAKOVSKY^{1,✉}, I.N. TIKHONOV²¹ LLC NPKTB OPTIMIZATSIYA, Dmitry Ulyanov str., 24, appt. 331,
Moscow, 117036, Russian Federation² Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev,
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,
Moscow, 109428, Russian Federation

FEATURES OF CALCULATIONS OF NORMAL CROSS SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO SP 63.13330.2018

Abstract

Introduction. SP 63.13330.2018 provides two approaches to calculating the strength of normal cross sections of reinforced concrete structures: the nonlinear deformation model NDM (general approach) and the method of ultimate forces UFM for simple elements of rectangular, T-shaped and I-shaped sections with reinforcement located at the edges of the element. As far as the authors are aware, no detailed studies have been conducted to compare the results obtained with both approaches.

Aim. Conduct research to compare the results obtained in the calculations for NDM and UFM, identify the differences, establish their physical cause, evaluate the economic aspects of the problem, and make the necessary recommendations.

Materials and methods. Calculations were carried out according to the program "OM SNiP Reinforced Concrete". Studies were performed for three types of structures. The first type included four cross sections of elements under two stress states: bending (T-shaped and rectangular), off-center compression (rectangular and annular). The second type of structures included beams tested at the NIIZHB named after A.A. Gvozdev. The third type is lintels according to State Standard 948-84. In all types of structures, under the action of the same forces, reinforcement was selected according to NDM and UFM.

Results. It turned out that the compressed zone of concrete in UFM participates in the resistance of cross sections to acting forces much more effectively than in NDM. This can lead to a significant difference in reinforcement. In one of the cases, the steel consumption in the calculations for UFM turned out to be 78 % less than for NDM.

Conclusions. For the considered structures, the calculation of the strength of normal cross sections by UFM turned out to be more effective than by NDM. At the same time, all the necessary regulatory requirements are met. Further research is needed to amend the existing regulations.

Keywords: reinforced concrete structures, normal cross sections, calculation, strength, nonlinear deformation model, ultimate forces method, comparison of results

For citation: Krakovsky M.B., Tikhonov I.N. Features of calculations of normal cross sections of reinforced concrete structures according to SP 63.13330.2018. *Beton i Zhelozobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 5–11. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-5-11](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-5-11)

Author contribution statements

The authors made an equal contribution to the problem statement, research, and evaluation of results.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 03.07.2023

Revised 28.07.2023

Accepted 03.08.2023

СП 63.13330.2018 предусматривает два подхода к расчету прочности нормальных сечений железобетонных конструкций: нелинейную деформационную модель НДМ (общий подход), метод предельных усилий МПУ для простых элементов. Указанные подходы отличаются критериями прочности. В МПУ в общем случае сечение считают прочным, если выполнено условие (65) [1]:

$$M \leq \pm(R_b S_b - \sum \sigma_{si} S_{si}), \quad (1)$$

Здесь M – действующий момент, определяемый относительно оси, зависящей от вида напряженного состояния сечения;

R_b – расчетное сопротивление бетона;

S_b – статический момент площади сечения сжатой зоны бетона;

σ_{si} – напряжение в i -ом стержне продольной арматуры;

S_{si} – статический момент площади сечения i -го стержня продольной арматуры.

Все статические моменты определяют относительно той же оси, что и M .

В НДМ сечение считают прочным, если выполнены условия (8.37) и (8.38) [2]:

$$|\varepsilon_{b,max}| \leq \varepsilon_{b,ult},$$

$$\varepsilon_{s,max} \leq \varepsilon_{s,ult}.$$

Здесь $\varepsilon_{b,max}$, $\varepsilon_{s,max}$ – максимальные относительные расчетные деформации;

$\varepsilon_{b,ult}$, $\varepsilon_{s,ult}$ – предельные относительные деформации соответственно бетона и арматуры.

На конкретных примерах сопоставим результаты, получаемые при обоих подходах. Для расчетов используем ЭВМ-программу «ОМ СНиП Железобетон» [3].

Рассмотрим результаты расчетов прочности четырех сечений, показанных в табл. 1. Во всех примерах использована арматура класса А500, для примеров 1, 2, 3, 4 классы бетона соответственно В15, В20, В25, В25. Чтобы исключить влияние продольного изгиба при внецентренном сжатии, усилия для расчетов сечений 3 и 4 считались полученными по деформированной схеме.

Расчет сечений 1 и 2 изгибаемых элементов проводили в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Задавали армирование.

2. Расчет по МПУ проверяли заданное армирование и определяли максимальный изгибающий момент M_{ult} , воспринимаемый сечением, а также высоту сжатой зоны бетона при действии M_{ult} .

3. Расчет по НДМ подбирали минимальное армирование из условий прочности сечения при действии момента M_{ult} ; если армирование подобрать не удавалось, расчеты заканчивали.

4. Расчет по НДМ для определения высоты сжатой зоны бетона проводили проверку прочности сечения при действии момента M_{ult} , определенного на шаге 2, и армировании, определенном на шаге 3.

5. Определяли процент превышения площади сечения арматуры, полученной на шаге 3, над площадью, заданной на шаге 1.

Таблица 1
Table 1

Рассчитанные сечения
Calculated cross sections

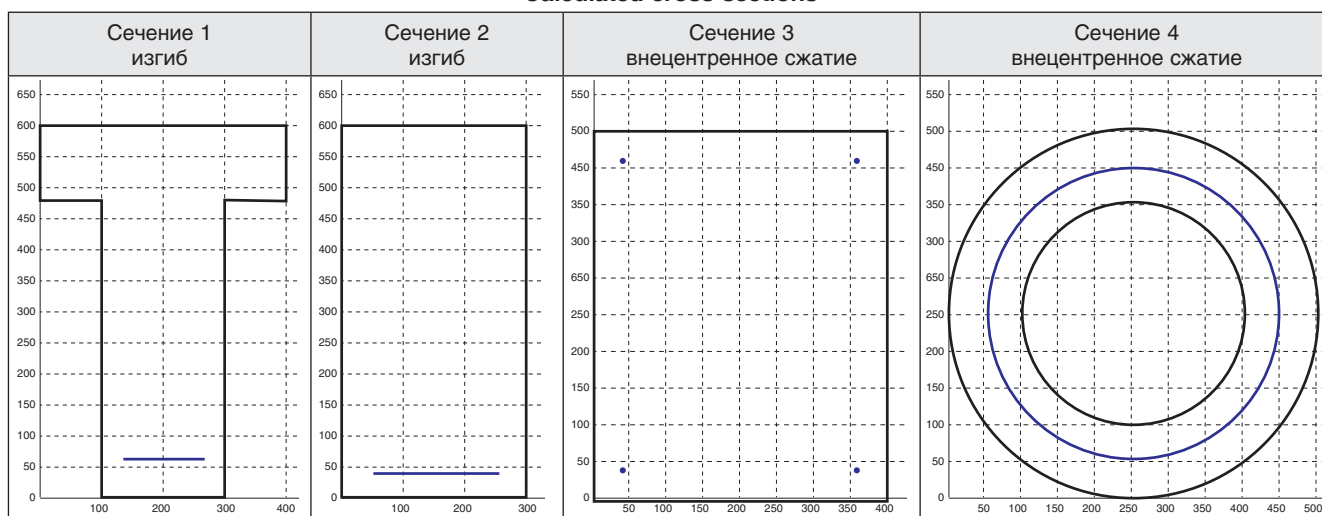


Таблица 2
Table 2

Результаты расчетов сечений 1 и 2
Results of calculations of sections 1 and 2

№ расчета	Момент, M_{ult} , кНм	Решение МПУ		Решение НДМ		Перерасход НДМ, %
		Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Сечение 1						
1	98,7	4Ø12	0,12	4Ø12	0,13	0
2	204,5	4Ø18	0,31	4Ø18	0,36	0
3	239,8	4Ø20	0,43	4Ø22	0,62	21
4	270,5	4Ø22	0,57	4Ø28	0,83	62
5	284,2	4Ø25	0,65	—*	—*	—*
Сечение 2						
1	104,9	3Ø14	0,11	3Ø14	0,19	0
2	165,9	3Ø18	0,19	3Ø18	0,31	0
3	236,4	3Ø22	0,28	3Ø22	0,40	0
4	290,1	3Ø25	0,36	3Ø28	0,65	25,4
5	342,7	3Ø28	0,46	—*	—*	—*

* прочность по НДМ не может быть обеспечена ни при каком армировании.

Результаты расчетов сечений 1 и 2 представлены в табл. 2. В первом столбце таблицы приведен номер расчета. В столбце 3 показано армирование, задаваемое на шаге 1 алгоритма, в столбце 2 – момент M_{ult} , определенный по МПУ на шаге 2. Армирование, полученное по НДМ на шаге 3, представлено в столбце 5. В столбцах 4 и 6 приведены относительные высоты сжатой зоны бетона ξ_m и ξ_n при расчетах соответственно по МПУ и НДМ (шаги алгоритма соответственно 2 и 4). При расчете по НДМ высоту сжатой зоны определяли из условия равенства нулю деформаций на границе зоны. Столбец 7 содержит перерасход в процентах площади сечения арматуры,

полученной расчетом по НДМ (см. столбец 5), над площадью сечения арматуры, заданной для расчета по МПУ (см. столбец 3).

Как видно, во всех расчетах $\xi_n \geq \xi_m$ и перерасход арматуры, получаемый по НДМ, тем больше, чем больше разница между ξ_n и ξ_m . При небольшой разнице между ξ_n и ξ_m в расчетах № 1, 2 и 1–3 для сечений соответственно 1 и 2 армирование по МПУ и НДМ оказывается одинаковым. При возрастании разницы между ξ_n и ξ_m в расчете № 4 по НДМ для обоих сечений перерасход арматуры увеличивается и достигает величин 62 и 25,4 %

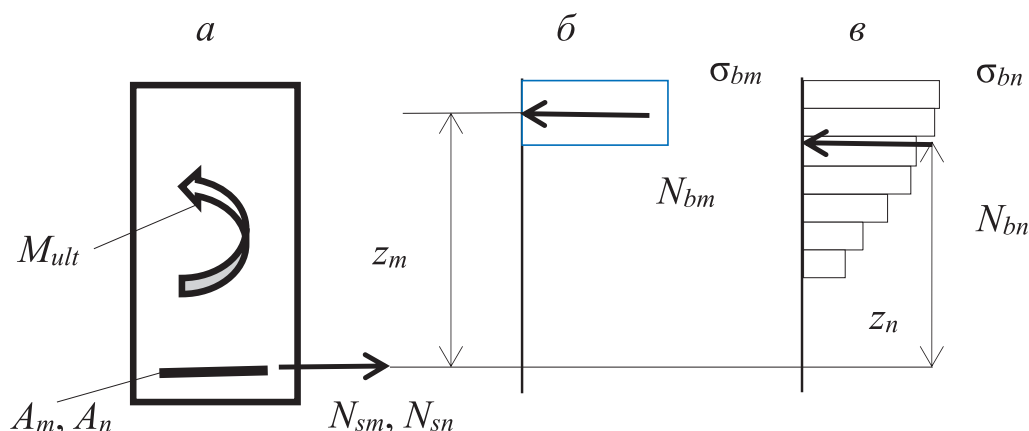


Рис. 1. Напряженное состояние сечения изгибаемого элемента: а – схема сечения; б, в – усилия и напряжения при расчетах соответственно по МПУ (индекс m) и НДМ (индекс n); σ_{bm} , σ_{bn} – напряжения в сжатой зоне бетона; N_{bm} , N_{bn} – усилия в сжатой зоне бетона; N_{sm} , N_{sn} – усилия в арматуре; A_m , A_n – площади сечения арматуры

Fig. 1. Stress state of the section of the bent element: а – section diagram; б, в – forces and stresses in calculations, respectively, according to UFM (index m) and NDM (index n); σ_{bm} , σ_{bn} – stresses in the compressed zone of concrete; N_{bm} , N_{bn} – forces in the compressed concrete zone; N_{sm} , N_{sn} – forces in the reinforcement; A_m , A_n – reinforcement cross section areas

Этот факт объясняется следующими обстоятельствами (рис. 1). При расчете по МПУ эпюра напряжений в сжатой зоне бетона σ_{bm} прямоугольная, т. е. напряжения везде одинаковы и равны расчетному сопротивлению бетона. При расчете по НДМ напряжения в бетоне σ_{bn} зависят от диаграммы состояния «напряжения – деформации» и уменьшаются по мере приближения к границе сжатой зоны. При одинаковой величине действующего момента M_{ult} при расчете по НДМ, по сравнению с расчетом по МПУ, плечо внутренней пары сил уменьшается ($z_n < z_m$), общее усилие в бетоне и арматуре увеличивается ($N_{bn} = N_{sn} > N_{bm} = N_{sm}$), площадь сечения растянутой арматуры возрастает ($A_n > A_m$).

Обратим внимание на расчеты № 5 обоих сечений. При расчете по МПУ граница сжатой зоны совпадает с границей переармирования, однако решение существует. При расчете по НДМ подобрать арматуру невозможно, поскольку уравнения равновесия (8.39)–(8.41) [2] решения не имеют.

Рассмотрим результаты расчетов сечений 3 и 4, представленные в табл. 3. Действующие усилия – продольная сила N и изгибающий момент M . Внесены следующие изменения в приведенный выше алгоритм расчета сечений 1 и 2:

- на шаге 2 расчетом по МПУ подбирали такие значения N и M , при которых были практически равны левые и правые части критерия прочности (1);
- на шаге 3 при расчете по НДМ подбирали минимальное армирование при действии усилий N и M , значения которых определены на шаге 2.

Для сечения 3 результаты аналогичны полученным для сечений 1 и 2. При увеличении ξ_m и ξ_n **перерасход арматуры**, получаемый по НДМ, увеличивается и **достигает 30 %**.

При расчетах сечения 4 при увеличении армирования **перерасход** арматуры по НДМ **изменяется от 78 до 27 %** (столбец 8). Это объясняется расположением арматуры не у граней, а равномерно по сечению.

Сравним результаты расчетов и экспериментальных исследований. В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были испытаны на изгиб прямоугольные балки сечениями 120 × 200 мм и 120 × 300 мм, показанные на рис. 2 [4]. Образцы изготовлены из бетона классов В30 и В60, арматура класса – Аv500П. Расчеты выполняли в следующем порядке:

- при принятых в эксперименте характеристиках каждой балки по МПУ определяли максимальный воспринимаемый момент M_{ult} ;
- подбирали армирование балок по НДМ при действии момента M_{ult} .

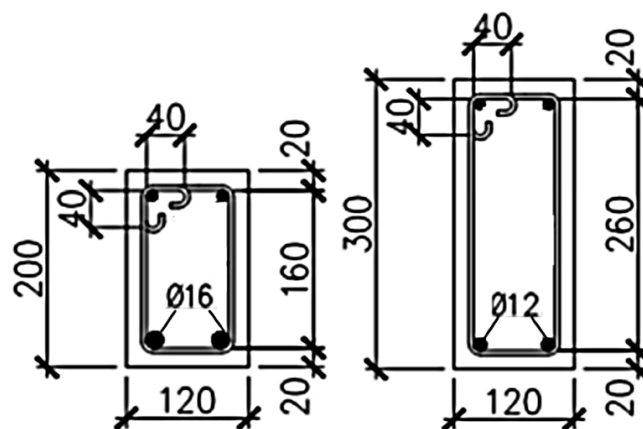


Рис. 2. Сечения экспериментальных балок
Fig. 2. Sections of experimental beams

Таблица 3
Table 3

Результаты расчетов сечений 3 и 4
Results of calculations of sections 3 and 4

№ расчета	Усилия		Решение МПУ		Решение НДМ		Перерасход НДМ, %
	N , кН	M , кНм	Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Сечение 3							
1	900	180	4Ø12	0,37	4Ø12	0,52	0
2	1362	234	4Ø18	0,62	4Ø20	0,81	23
3	1900	315	4Ø28	0,66	4Ø32	0,87	30
4	2090	350	4Ø32	0,68	4Ø36	0,89	27
Сечение 4							
1	1270	150	13Ø12	–	13Ø16	–	78
2	1535	183	13Ø16	–	13Ø20	–	56
3	1900	230	13Ø20	–	13Ø22	–	21
4	3312	400	13Ø32	–	13Ø36	–	27

Результаты расчетов, аналогичные полученным для сечений 1 и 2, представлены в табл. 4:

– при расчете по МПУ в обеих балках при обоих классах бетона полученное армирование совпадает с действительно установленным;

– во всех случаях $\xi_m < \xi_n$;

– при небольших значениях ξ_m и ξ_n в балке 120 × 300 мм армирование по НДМ совпадает с полученным по МПУ;

– при возрастании значений ξ_m и ξ_n в балке 120 × 200 мм перерасход армирования по НДМ составляет 27 %.

Сравнение армирования при расчетах по МПУ и НДМ выполняли также для железобетонных перемычек в ГОСТ 948-84 [5]. Согласно требованиям [5] в рассмотренных ниже конструкциях используют бетон класса В25 и арматуру класса А-III. Исследовалась возможность экономии стали при использовании арматуры А500СП и А500СР.

Условия и результаты расчетов представлены соответственно в табл. 5 и 6. В столбце 2 (табл. 6) показано армирование, принятое в [5], при стали класса А-III, а в столбцах 3 и 5 – полученное в расчетах соответственно по

МПУ и НДМ при стали класса А500СП и А500СР. Рассмотрим полученные результаты:

– при расчетах по МПУ экономия стали, по сравнению с ГОСТ, составляет до 56 % (см. столбцы 2–4);

– при расчетах по НДМ экономия стали, по сравнению с ГОСТ, оставляет 36 и 22 % в перемычках 2 и 4, а в перемычке 3 допущен перерасход 56 % (см. столбцы 2, 5, 6);

– при расчетах по НДМ, по сравнению с МПУ, перерасход стали составляет до 56 % (см. столбцы 3, 5, 7).

Обратим внимание на результаты расчетов перемычки 3. ГОСТ [5] введен в действие около 40 лет назад. За это время разработаны новые классы стали А500СП и А500СР, а также новый метод расчета НДМ. В результате оказалось, что **использование новых разработок может привести к возрастанию расхода стали** в перемычках, ранее успешно применявшихся в течение многих лет.

В общем, расчет по МПУ является гораздо более экономичным, чем по НДМ. При этом надежность результатов по МПУ подтверждается десятилетиями успешного проектирования по [1].

Таблица 4
Table 4

Результаты расчетов экспериментальных балок
Results of calculations of experimental beams

Размеры балки, мм	Класс бетона	M_{up} , кНм	Решение МПУ		Решение НДМ		Перерасход НДМ, %
			Армирование	ξ_m	Армирование	ξ_n	
120 × 200	B30	23,00	2Ø16	0,45	2Ø18	0,51	27
	B60	27,5	2Ø16	0,24	2Ø18	0,33	27
120 × 300	B30	24,50	2Ø12	0,16	2Ø12	0,39	0
	B60	25,50	2Ø12	0,10	2Ø12	0,26	0

Таблица 5
Table 5

Условия расчетов перемычек
Conditions for lintels calculation

№	Марка перемычки	Размеры прямоугольного сечения, мм		Действующий момент, кНм
		ширина	высота	
1	2ПБ-25-3	120	140	2,34
2	3ПБ16-37	120	220	9,04
3	4ПБ30-4	120	290	4,14
4	5ПБ27-27	250	220	21,37

Таблица 6
Table 6

Результаты расчетов перемычек
Results of lintels calculation

№	Армирование по ГОСТ, диаметры стержней А-III	Армирование стержнями А500СП, А500СР при расчете по				
		МПУ		НДМ		
		диаметры стержней	экономия, ГОСТ, %	диаметры стержней	экономия, ГОСТ, %	перерасход МПУ, %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1Ø10	1Ø8	56	1Ø10	0	56
2	1Ø14	1Ø12	36	1Ø12	36	0
3	1Ø8	1Ø8	0	1Ø10	-56	56
4	2Ø12 + 2Ø10	2Ø10 + 2Ø8	46	4Ø10	22	22

В перемычках [5] дополнительную экономию стали можно получить, учитывая особенности расчетов конструкций на трещиностойкость при арматуре классов А500СП, Ау500СП [6, 7].

Выводы

1. В расчетах прочности нормальных сечений железобетонных конструкций по НДМ сопротивление бетона сжатой зоны учитывается менее эффективно, чем при расчетах по МПУ.

2. В некоторых случаях это приводит к большому неоправданному перерасходу арматуры (в рассмотренных случаях – до 78 %).

3. Расчет прочности простых типов железобетонных конструкций массового применения (прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с арматурой, расположенной у граней сечения) следует производить по МПУ. Такой расчет, а также использование арматуры классов А500СП, Ау500СП, Ав500СП позволят сэкономить миллиарды рублей при строительстве зданий и сооружений из железобетона.

4. Целесообразно продолжить исследования для обоснования возможности включения в [2] общего случая расчета по МПУ конструкций при любых сечениях, внешних усилиях и любом армировании согласно п. 3.28* [1].

Список литературы

1. Бетонные и железобетонные конструкции СНиП 2.03.01-84*. Москва: Госстрой СССР; 1989.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стройинформ; 2019.
3. Краковский М.Б. Развитие программы «ОМ СНиП ЖЕЛЕЗОБЕТОН» для расчета железобетонных конструкций на ЭВМ по СНиП 2.03.01-84*, СНиП 52-01-2003 и СП 52-101-2003 // *Бетон и железобетон*. 2005. № 5 (536). С. 19–22.
4. Тихонов И.Н., Крылов С.Б., Звездов А.И., Смирнова Л.Н., Тихонов Г.И., Гончаров Е.Е. Оценка сейсмостойкости зданий из железобетона на стадии проектирования // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. № 5. С. 31–46. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-31-46>
5. ГОСТ 948-84. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами. Технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2002.
6. СТО 36554501-005-2020*. Применение арматуры классов А500СП, Ау500СП и А600СП в железобетонных конструкциях. Москва: АО «НИЦ «Строительство»; 2021.
7. Тихонов И.Н., Блажко В.П., Тихонов Г.И., Казарян В.А., Краковский М.Б., Цыба О.О. Инновационные решения для эффективного армирования железобетонных конструкций // *Жилищное строительство*. 2018. № 8. С. 3–10. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2018-8-3-10>.

References

1. Concrete and reinforced concrete structures SNiP 2.03.01-84*. Moscow: Gosstroy of the USSR; 1989. (In Russian).
2. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Stroyinform; 2019. (In Russian).
3. Krakovsky M.B. Development of the "OM SNiP Reinforced Concrete" program for the calculation of reinforced concrete structures on a computer by SNiP 2.03.01-84*, SNiP 52-01-2003 и SP 52-101-2003. *Beton i Zhelezobeton*. 2005, no. 5, pp. 19–22. (In Russian).
4. Tikhonov I.N., Krylov S.B., Zvezdov A.I., Smirnova L.N., Tikhonov G.I., Goncharov Ye.Ye. Assessment of earthquake resistance of reinforced concrete buildings at the design stage. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2022, no. 5, pp. 31–46. (In Russian). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-31-46>
5. State Standard 948-84. Reinforced concrete lintels for brick wall buildings. Specifications. Moscow: PPP "Publishing house of standards"; 2002.
6. STO 36554501-005-2020*. Application of reinforcement of A500SP, Au500SP & A600SP classes in reinforced concrete structures. Moscow: JSC Research Center of Construction; 2021. (In Russian).
7. Tikhonov I.N., Blazhko V.P., Tikhonov G.I., Kazaryan V.A., Krakovsky M.B., Tsyba O.O. Innovative solutions for efficient reinforcement of reinforced concrete structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018, no. 8, pp. 3–10. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2018-8-3-10>

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Борисович Краковский [✉], д-р техн. наук, профессор, директор ООО НПКТБ «ОПТИМИЗАЦИЯ», Москва

e-mail: mbkrakov@yandex.ru

Michael B. Krakovsky [✉], Dr. Sci. (Engineering), Professor, Director, LLC NPKTB Optimization, Moscow

e-mail: mbkrakov@yandex.ru

Игорь Николаевич Тихонов, д-р техн. наук, руководитель центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

Igor N. Tikhonov, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Center No. 21, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: tikhonovniizhb21@yandex.ru

[✉] Автор, ответственный за переписку / Corresponding author