

**В помощь инженеру-проектировщику**

УДК 624.012.3/.4(083.13)

DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55)

С.А. ЗЕНИН

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

# К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ, ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ПО СП 63.13330.2018

**Аннотация**

В статье приведены ответы на вопросы по указаниям СП 63.13330.2018 по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, наиболее часто поступающие в адрес разработчиков свода правил от его пользователей. Рассмотрен круг вопросов, касающихся указаний свода правил по расчету прочности нормальных и наклонных сечений железобетонных конструкций и по расчету их трещиностойкости. Представлены ответы на вопросы пользователей свода правил, даны пояснения его отдельных указаний, а для некоторых указаний приведены рекомендации по их выполнению.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, арматура, расчет по прочности, изгибающий момент, поперечная сила, продольная сила

**Для цитирования:** Зенин С.А. К вопросу расчета железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов, продольных и поперечных сил по СП 63.13330.2018 // *Бетон и железобетон*. 2023. № 2 (616). С. 50–55. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55)

**Вклад автора**

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

**Финансирование**

Часть вопросов рассмотрена за счет средств финансирования, выделенных ФАУ «ФЦС».

**Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 03.04.2023*

*Поступила после рецензирования 10.04.2023*

*Принята к публикации 20.04.2023*

*To help a design engineer*

S.A. ZENIN

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NII ZNB) named after A.A. Gvozdev,  
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428,  
Russian Federation

# **ON THE ISSUE OF CALCULATIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER THE ACTION OF BENDING MOMENTS, LONGITUDINAL AND TRANSVERSE FORCES ACCORDING TO SP 63.13330.2018**

**Abstract**

The article provides answers to questions on the instructions of SP 63.13330.2018 on the design of concrete and reinforced concrete structures, most often received by the developers of the set of rules from its users. The range of issues related to the instructions of the set of rules for calculating the strength of normal and inclined sections of reinforced concrete structures and for calculating their crack resistance is considered. Answers to the questions of users of the set of rules are presented, explanations of its individual instructions are given, and for some instructions, recommendations are given for their implementation.

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, reinforcement, strength calculation, bending moment, transverse force, longitudinal force

**For citation:** Zenin S.A. On the issue of calculations of reinforced concrete structures under the action of bending moments, longitudinal and transverse forces according to SP 63.13330.2018. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 2 (616), pp. 50–55. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2\(616\)-50-55](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-2(616)-50-55)

**Author contribution statement**

The author takes responsibility for all aspects of the work on the article.

**Funding**

Some of the issues were considered at the expense of funding allocated by the FAO “FCA”.

**Conflict of interest**

The author declare that there is no conflict of interest.

*Received 03.04.2023*

*Revised 10.04.2023*

*Accepted 20.04.2023*

Действующая редакция СП 63.13330.2018 [1] содержит общие указания по расчету бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой и второй групп. В некоторых случаях проектировщики и эксперты сталкиваются с необходимостью уточнения и разъяснения отдельных положений СП 63.13330.2018 [1] для конкретных конструктивных решений. Ниже изложены краткие пояснения тех указаний СП 63.13330.2018 [1] по расчету бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы и по трещиностойкости, которые больше всего вызывают вопросы у пользователей.

### 1. Об учете физической и геометрической нелинейности при расчете бетонных и железобетонных конструкций.

Как известно, работа железобетона характеризуется неупругой работой материалов – бетона и арматуры, а также образованием трещин в растянутом бетоне. Неупругая работа материалов, именуемая как физическая нелинейность, учитывается во всех расчетных методиках СП 63.13330.2018 [1], в том числе в виде непосредственного использования диаграмм деформирования материалов, либо применением эмпирических коэффициентов, полученных опытным путем и обеспечивающих необходимую надежность конструкций и достаточную сходимость разработанных математических моделей физическим моделям разрушения. Учет геометрической нелинейности при расчете железобетонных конструкций по прочности особенно важен для внецентренно сжатых элементов. Для гибких сжатых элементов продольный изгиб оказывает существенное влияние на значение действующих усилий в нормальных сечениях, в СП 63.13330.2018 [1] это учтено в методике расчета внецентренно сжатых элементов. Влияние продольного изгиба во внецентренно сжатых элементах, согласно СП 63.13330.2018 [1], может быть учтено двумя способами: путем расчета по деформированной схеме и приближенным способом по недеформированной схеме. В первом способе расчеты выполняют методом последовательных приближений, связанном с пересчетом жесткостей отдельных сечений элемента с учетом нелинейных свойств бетона и арматуры (диаграмм деформирования материалов), а также образования трещин. Упрощенный способ расчета выполняют по недеформированной схеме с использованием коэффициента продольного изгиба  $\eta$ , вводимого к эксцентриситету приложения продольной силы и увеличивающего его. Расчет по недеформированной схеме также включает в себя упрощенное определение расчетной длины сжатого элемента при помощи условных коэффициентов, учитывающих вид заделки на концах элемента.

Следует отметить, что расчет с применением условного понижающего коэффициента, вводимого к начальному модулю упругости бетона по всей высоте внецентренно сжатого элемента, не относится к рас-

чету по деформированной схеме. Такой подход широко применяется на практике для определения действующих усилий при расчете конструктивных систем методом конечных элементов. Этот подход позволяет учитывать в целом перераспределение усилий между вертикальными и горизонтальными конструкциями, но он не учитывает распределение жесткостей по высоте элемента. Последующий расчет по прочности нормального сечения внецентренно сжатого элемента на усилия, полученные при таком подходе, требует расчета по недеформированной схеме с использованием коэффициента продольного изгиба  $\eta$ .

Следует отметить, что упрощенный метод по недеформированной схеме, изложенный в СП 63.13330.2018 [1], содержит консервативные значения коэффициентов расчетных длин. Как показали исследования [2], в ряде случаев значение коэффициента расчетной длины может быть уменьшено в зависимости от величины и направления углов поворота заделок, эквивалентной жесткости стержня в предельном состоянии и его гибкости. По результатам анализа влияния данных факторов и сравнительного анализа с опытными данными в СП 430.1325800.2018 [3] были предложены зависимости для определения расчетных длин железобетонных колонн с прямоугольным постоянным по высоте поперечным сечением, выполненных из тяжелого железобетона с классами по прочности не выше В60. Значения расчетных длин внецентренно сжатых элементов в отдельных случаях могут быть снижены на 15–30 %, их уточнение, с учетом фактических углов поворота и жесткостей, позволяет более корректно оценить прочность нормального сечения с учетом продольного изгиба.

### 2. О расчете слабоармированных элементов.

При расчете железобетонных элементов на действие изгибающих моментов и продольных сил по прочности необходимо учитывать положения пункта 8.1.3 СП 63.13330.2018 [1], согласно которому для железобетонных элементов, у которых предельное усилие по прочности  $M_{ult}$  оказывается меньше предельного усилия по образованию трещин  $M_{crs}$  (определяемого в соответствии с пунктами 8.2.8–8.2.14 [1]), площадь сечения продольной растянутой арматуры  $A_s$  должна быть увеличена по сравнению с требуемой из расчета по прочности не менее чем на 15 % или определена из расчета по прочности на действие предельного усилия по образованию трещин.

Как видно, формулировка пункта 8.1.3 СП 63.13330.2018 [1] предполагает два возможных варианта реализации конструктивного решения. Первый – это увеличение площади расчетного армирования, принимаемой равной  $A_s^* 1.15$ , где  $A_s^*$  – площадь растянутой арматуры, определенной по расчету нормального сечения по прочности (согласно подразделу 8.1 [1]). Второй вариант – это определение требуемого содержания арматуры  $A_s$  (также согласно подразделу 8.1 [1]) на действие усилия, значение

которого принимают равным предельному усилию по образованию трещин ( $M_{cre}$  или  $N_{cre}$ ). Следует отметить, что значение предельного усилия по образованию трещин в данном случае определяют в соответствии с положениями подраздела 8.2 [1], т. е. при нормативных значениях прочности бетона на растяжение, выполняя расчет по предельным усилиям или по нелинейной деформационной модели. При возникновении ситуации, описанной в пункте 8.1.3 [1], допускается применять любой из указанных методов. При этом рекомендуется использовать оба метода и по их результатам принять наиболее оптимальное решение с точки зрения конструирования и расхода арматуры.

В дополнение к вышесказанному можно отметить, что в настоящее время в ряде документов по проектированию отдельных видов бетонных и железобетонных конструкций (СП 311.1325800.2017 [4], СП 360.1325800.2017 [5], СП 164.1325800.2014 [6]) введена уточненная упрощенная методика расчета момента образования трещин в нормальных сечениях элементов с прямоугольной формой поперечного сечения.

### **3. Об учете нелинейных свойств бетона при оценке трещиностойкости элемента.**

В действующей методике СП 63.13330.2018 [1] момент образования трещин  $M_{cre}$  упрощенным методом допускается определять для таких элементов с использованием коэффициента  $\gamma$  учитывающего нелинейные свойства бетона растянутой зоны сечения. При этом значение коэффициента  $\gamma$  принимают равным 1,3. Выполненные исследования [7] показали, что нормативное значение коэффициента  $\gamma$  для сечения прямоугольной формы, приведенное в СП 63.13330.2018 [1], занижено для бетонов низких классов. Теоретические значения, установленные по результатам расчетов момента трещинообразования с учетом нелинейных свойств бетона растянутой зоны на основе диаграмм деформирования, выше и варьируются в пределах 1,35–1,7 для бетонов классов В100–В25 соответственно.

С учетом этого для корректной оценки конструктивных решений, конструирование которых выполняется в соответствии с пунктом 8.1.3 [1], рекомендуется при расчете момента образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона для элементов с прямоугольной формой сечения значение упругопластического момента сопротивления для крайнего растянутого волокна бетона  $W_{pl}$  вычислять по формуле:

$$W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}, \quad (1)$$

в которой значение коэффициента  $\gamma$  принимают по зависимости, указанной в сводах правил [4–6]

$$\gamma = 1,73 - 0,005 \cdot (B - 15), \quad (2)$$

здесь  $B$  – числовая характеристика класса бетона по прочности на осевое сжатие;

$W_{red}$  – упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения, определяемый в соответствии с пунктом 8.2.12 [1].

Применение зависимости (2) позволит увеличить момент трещинообразования для бетонов низких классов (до В100) до 30 %.

### **4. Об особенностях расчета прочности по наклонным сечениям элемента.**

Расчеты по прочности наклонных сечений, согласно СП 63.13330.2018 [1], включают в себя несколько проверок: расчет по сжатой наклонной полосе на действие поперечных сил, расчет наклонных сечений на действие поперечных сил и расчет наклонных сечений на действие изгибающих моментов. Это связано с необходимостью обеспечения прочности конструкции по всем различным возможным схемам разрушений конструкции по наклонным сечениям. При наличии поперечной арматуры напряжения в ней, как правило, первыми достигают своих предельных значений. После этого с дальнейшим ростом нагрузки возможно два варианта разрушения: первый – вследствие разрушения бетона над наклонной трещиной по причине достижения напряжений в нем предельных значений, при этом напряжения в растянутой арматуре не достигнут своих предельных значений; второй – вследствие разрушения бетона над трещиной при напряжениях в арматуре, равных предельному значению. При большом насыщении сечения поперечной арматурой может произойти третий вариант разрушения – разрушение бетона между наклонными трещинами. Недопущение первого варианта разрушения контролируется в СП 63.13330.2018 [1] расчетом наклонного сечения на действие поперечных сил (пункт 8.1.33), второго варианта разрушения – расчетом наклонного сечения на действие изгибающих моментов (пункт 8.1.35), а третьего варианта разрушения – условием прочности по полосе между наклонными сечениями (пункт 8.1.32).

Методика расчета наклонных сечений на действие поперечных сил, приведенная в пункте 8.1.34 [1], предусматривает возможность оценки влияния одновременного действия продольных и поперечных сил на прочность наклонного сечения.

Влияние сжимающих и растягивающих напряжений при расчете по полосе между наклонными сечениями и по наклонным сечениям следует учитывать с помощью коэффициента  $\varphi_n$ , на который умножают правую часть условий (8.55), (8.57) или (8.61) – при сжимающих напряжениях и условий (8.57) или (8.61) СП 63.13330.2018 – при растягивающих напряжениях. Уточнение для растягивающих напряжений было введено Изменением № 2 к СП 63.13330.2018 [1] для исключения некорректного применения коэффициента  $\varphi_n$  в условиях оценки прочности сечения по сжатой наклонной полосе при отсутствии растягивающих напряжений.

По сравнению с предыдущей версией СП 63.13330.2012 [8] в действующей редакции СП 63.13330.2018 [1] расчет по прочности наклонных сечений при действии продольных сил, согласно пункту 8.1.34 [1], выполняют с учетом продольной арматуры. Это отражено при определении значения средних сжимающих (растягивающих) напряжений в бетоне  $\sigma_{cp}$  от воздействия продольных сил, определяемого расчетом на основе нелинейной деформационной модели или по формуле

$$\sigma_{cp} = \frac{N}{A_{red}}, \quad (3)$$

где  $A_{red}$  – площадь приведенного поперечного сечения элемента, определяемая с учетом неупругих свойств бетона при сжатии и растяжении

$$A_{red} = A + \frac{\alpha}{v_b} A_s, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент приведения арматуры к бетону,  $\alpha = E_s/E_b$ ;

$v_b$  – коэффициент упругости бетона при сжатии или растяжении.

Допускается величину  $A_{red}$  определять упрощенным способом, принимая значение коэффициента  $v_b$  равным

– при действии сжимающей продольной силы

$$v_b = \frac{R_b}{\varepsilon_{b0} \cdot E_b}, \quad (5)$$

– при действии растягивающей продольной силы

$$v_b = v_{bt} = \frac{R_{bt}}{\varepsilon_{bt0} \cdot E_b}, \quad (6)$$

где значения относительных деформаций бетона при сжатии и растяжении  $\varepsilon_{b0}$ ,  $\varepsilon_{bt0}$  принимают по пункту 6.1.14 [1] для непродолжительного действия нагрузки.

При определении площади приведенного поперечного сечения элемента  $A_{red}$  допускается площадь бетона в поперечном сечении  $A$  принимать равной площади поперечного сечения элемента – без вычета площади сечения продольной арматуры  $A_s$ .

При расчетах по пункту 8.1.35 [1] наклонных сечений на действие изгибающих моментов рассматривают наклонные сечения, проходящие через ослабленные зоны элементов: в зоне анкеровки арматуры на свободных опорах, в зоне обрыва продольной растянутой арматуры (не доведения до опоры), в местах отгибов, в подрезках и т. п. Если все сечение элемента сжато, то такую проверку не выполняют.

**5. О расчете прочности наклонных сечений элементов с отличной от прямоугольной формой сечения.**

Одним из вопросов, часто задаваемых пользова-

телями СП 63.13330 [1], является вопрос расчета по прочности наклонных сечений элементов с формой поперечного сечения, отличной от простой прямоугольной, таких как круг, кольцо, тавр и др. Действующая редакция СП 63.13330 [1] не содержит указания по расчету прочности наклонных сечений таких элементов. В 2021 году специалистами НИИЖБ им. А.А. Гвоздева по данному вопросу были выполнены исследования [9, 10], по результатам которых разработаны предложения по расчету прочности наклонных сечений элементов с учетом различной формы поперечного сечения. В настоящее время планируется проведение экспериментальных исследований для проверки этих предложений и последующего включения в нормы.

### Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва; 2019.
2. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. К вопросу оценки расчетной длины внецентренно сжатых железобетонных элементов // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. № 3 (30). С. 17–29. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-17-29](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-17-29). EDN: TDOMYX
3. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2019.
4. СП 311.1325800.2017. Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
5. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
6. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. Москва: Росстандарт; 2015.
7. Мухамедиев Т.А. Учет неупругих свойств бетона при расчете железобетонных конструкций по образованию трещин // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2018. № 5 (280). С. 24–29. EDN: XZIZYL
8. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва; 2013.
9. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А. О расчете прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения // *Строительные материалы*. 2022. № 8. С. 70–74. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-70-74>. EDN: AGUOMO
10. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А., Жарких А.С. Оценка надежности метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения // *Вестник НИЦ*



«Строительство». 2022. № 2 (33). С. 139–149. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149). EDN: FBWFRF

### References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow; 2018. (In Russian).
2. Zenin S., Sharipov R., Kudinov O. On the issue of estimating the effective length of non-centrally compressed reinforced concrete elements. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2021, no. 3 (30), pp. 17–29. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-17-29](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-17-29). EDN: TDOMYX
3. SP 430.1325800.2018. Monolithic structural systems. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
4. SP 311.1325800.2017. High strength concrete and reinforced high strength concrete structures. Design guideline. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
5. SP 360.1325800.2017. Steel fiber reinforced concrete structures. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
6. SP 164.1325800.2014. Strengthening of reinforced concrete structures by FRP composites. Regulation of design. Moscow: Rosstandart; 2014. (In Russian).
7. Mukhamediev T.A. Account inelastic properties of concrete when calculating concrete structures for cracking. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2018, no. 5, pp. 24–29. (In Russian). EDN: XZIZYL
8. SP 63.13330.2012. Concrete and won concrete construction. Design requirements. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow; 2013. (In Russian).
9. Mukhamediev T.A., Zenin S.A. On the calculation of the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-section shapes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022, no. 8, pp. 70–74. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-70-74>. EDN: AGUOMO
10. Mukhamediev T.A., Zenin S.A., Zharkikh A.S. The reliability assessment of the method for calculating the strength of oblique sections in reinforced concrete elements with various cross-sectional shape. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of Science and Research Center of Construction]. 2022, no. 2 (33), pp. 139–149. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149). EDN: FBWFRF

### Информация об авторах / Information about the authors

**Сергей Алексеевич Зенин**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: lab01@mail.ru  
тел.: +7 (499) 174-75-17

**Sergei A. Zenin**, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: lab01@mail.ru  
tel.: +7 (499) 174-75-17