

Сравнительный анализ результатов расчета сталежелезобетонных плит с профилированным настилом

И.К. Манаенков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Одним из вариантов железобетонных перекрытий является устройство их по стальному профилированному настилу. В этом случае удастся существенно сократить сроки возведения конструкции и обеспечиваются простые и удобные узлы опирания. В статье рассматриваются нормативные методики расчета сталежелезобетонных плит перекрытий с профилированным настилом по СП 266.1325800.2016. Выполнена серия расчетов по предельным усилиям и по нелинейной деформационной модели (НДМ), произведено сравнение с экспериментальными данными. Полученные данные свидетельствуют о существенном завышении для ряда образцов несущей способности, вычисленной по методу НДМ. Это свидетельствует о необходимости изменения подхода к расчетам по НДМ и потребности во внесении корректировок в расчетную диаграмму σ - ϵ для стального профилированного настила, отражающих реальные условия работы элемента.

Ключевые слова: стальной профилированный настил, перекрытие, деформационная модель, диаграмма состояния, статическая нагрузка.

Введение

На современном этапе развития строительная практика накопила большое разнообразие конструктивных решений с применением бетона и стали, которые обеспечивают гибкий подход к проектированию гражданских и промышленных зданий и позволяют в каждом конкретном случае выбирать тот вариант, который обеспечит наибольшую эффективность с точки зрения решаемых инженерных задач и удобства выполнения строительно-монтажных работ.

Одним из вариантов железобетонных перекрытий является устройство их по стальному профилированному настилу. В этом решении профнастил, выполняя на этапе монтажа роль несъемной опалубки, позволяет существенно сократить сроки строительства и обеспечивает простые и удобные узлы опирания, в том числе при реконструкции зданий [1]. Такие элементы требуют учета ряда факторов, обусловленных особенностями

конструкции и технологии возведения: расчет профнастила на стадии возведения [2,3], учет локальных нагрузок [4], специфика поведения при огневых воздействиях [5,6].

Отдельной важной инженерной задачей является обеспечение совместной работы профнастила и железобетона, что дает возможность эффективно повысить несущую способность в стадии эксплуатации [7-9]. В этом случае возникает достаточно сложная комбинация материалов, обеспечивающих несущую способность: бетон, профлист, стержневая арматура. Для таких конструкций СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» предлагает две возможных методики расчета: по предельным усилиям и по нелинейной деформационной модели (НДМ). Сравнению результатов расчета по данным методикам и посвящена данная статья.

Материалы и методы

При расчете по предельным усилиям несущая способность нормального сечения определяется на основании условий прочности из СП 266.1325800.2016, полученных из уравнений статического равновесия с учетом упрощенного распределения напряжений по сечению и геометрических параметров сечения. При этом для более корректной оценки несущей способности используется набор коэффициентов, в частности коэффициент условий работы γ_c , снижающий расчетное сопротивление стального профилированного настила.

При расчете по НДМ сечение элемента в пределах каждого материала разбивается на относительно малые участки. Расчет выполняется методом последовательных приближений. На каждом этапе решается система уравнений статического равновесия, но, в отличие от предыдущего метода, деформации определяются в центре тяжести каждого участка разбиения и по этим значениям с диаграмм σ - ϵ материалов снимаются значения напряжений.

Результаты расчета на очередном этапе сравниваются с предыдущими до тех пор, пока разница не будет в пределах допустимой погрешности. Таким образом метод позволяет учитывать более приближенное к реальному распределение напряжений по сечению элемента и сложные варианты армирования [10,11].

Были проанализированы экспериментальные образцы железобетонных перекрытий по стальному профилированному настилу из диссертационных исследований Шейхани Б.З. и Сергеева В.Б. Из них отобраны образцы, испытанные на действие статической нагрузки и в которых конструктивно обеспечена совместная работа стального профнастила и бетона. Параметры опытных образцов приведены в Таблице 1. Большинство рассмотренных образцов не имели продольного стержневого армирования, но в исследовании Шейхани Б.З. были испытаны дублирующие образцы, имеющие также и стержневое армирование (литера «С» в шифре).

Таблица № 2

Шифр плиты	Высота сечения, h [мм]	R_b [МПа]	R_{bt} [МПа]	Настил	R_y [МПа]	Арматура	R_s [МПа]
рШ 6АС	145	24,6	1,95	H80A-674-1	360	ø8 А-III	435
рШ 6А	145	24,6	1,95	H80A-674-1	360	-	-
рШ 10АС	185	20,6	1,78	H80A-674-1	360	Ø12 А-III	472
рШ 10А	185	20,6	1,78	H80A-674-1	360	-	-
рШ 14АС	225	24,0	1,95	H80A-674-1	360	Ø16 А-III	452
рШ 14А	225	24,0	1,95	H80A-674-1	360	-	-
П1	120	33,9	2,49	H60-789-1	355	-	-
П4	90	33,0	2,39	H60-789-1	355	-	-
П5	110	38,3	2,59	H80-674-1	452	-	-
П6	120	38,3	2,59	H80-674-1	452	-	-
П8	160	38,3	2,59	H80-674-1	452	-	-
П9	100	22,6	1,96	H80-674-1	452	-	-

Далее выполнялись сравнительные расчеты по методу предельных усилий и по НДМ.

При расчете по НДМ наиболее важным этапом является выбор корректной диаграммы σ - ϵ , учитывающей работу материала наиболее приближенно к реальной [12-13]. В соответствии с рекомендациями СП 266.1325800.2016 для арматуры была принята двухлинейная диаграмма (Рис. 1.б) по СП 63.13330.2018, а для профлиста обобщенная диаграмма работы строительных сталей (Рис. 1.в) по СП 16.13330.2017. После выполнения серии расчетов было установлено что при задании различных форм диаграммы σ - ϵ бетона (криволинейной, двухлинейной и трехлинейной по СП 63.13330.2018) для рассмотренных образцов разница в результатах расчета несущей способности составили не более 1%. Этим обусловлен выбор криволинейной диаграммы σ - ϵ бетона (Рис. 1.а) в качестве основной для дальнейшего анализа (как наиболее приближенной к экспериментальной).

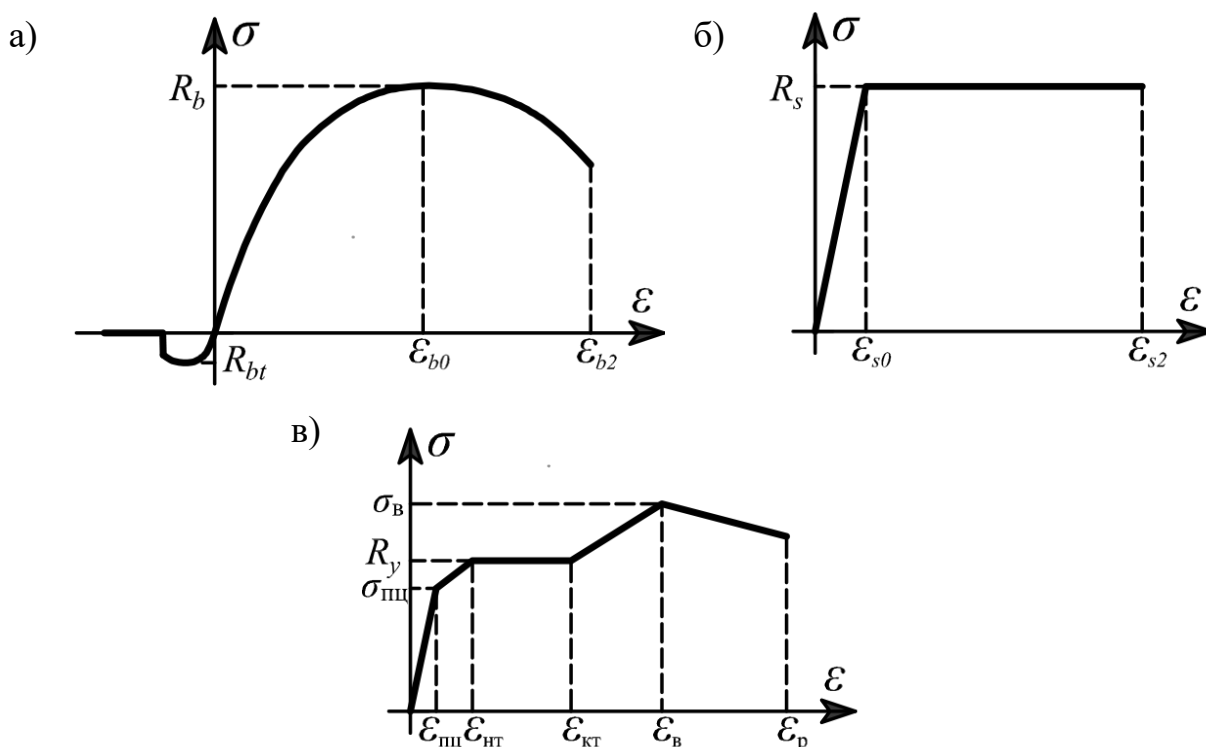


Рис. 1. – Расчетные диаграммы σ - ϵ материалов

Примеры расчетных сечений элементов приведены на Рисунке 2.

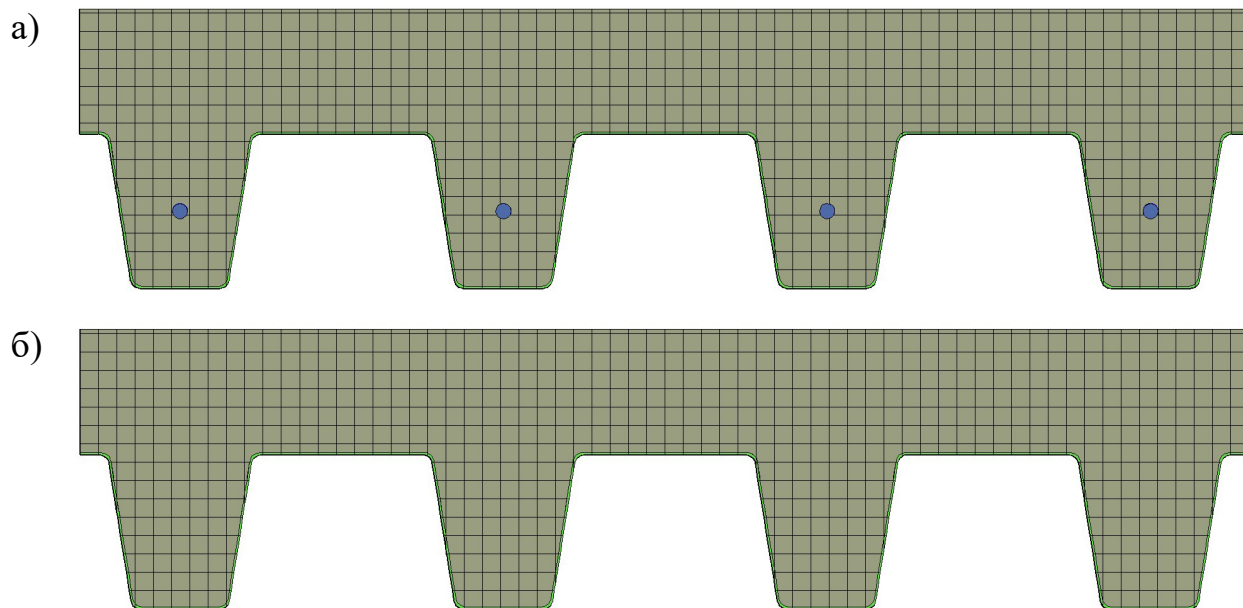


Рис. 2. – Расчетные сечения с учетом разбиения материалов на участки: а) – рШ 6АС; б) – рШ 6А

Результаты и выводы

Результаты расчетов по рассмотренным методикам приведены в Таблице № 2.

При расчете по НДМ определено, что в предельном состоянии наблюдается переход всего сечения профлиста в стадию пластического течения. Вероятно, столь значительное завышение несущей способности при расчетах по НДМ можно объяснить отсутствием учета локальной потери устойчивости тонкого листа. Это подтверждается и тем фактом, что для образцов со стержневым армированием, в которых вклад профлиста в несущую способность существенно ниже расхождение несущей способности не столь велико и не превышает 4,75%.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости изменения подхода к расчетам по НДМ, предложенного в СП 266.1325800.2016, и потребности во внесении корректировок в расчетную диаграмму σ - ε для

стального профилированного настила, отражающих реальные условия работы элемента.

Таблица № 2

Шифр плиты	$M_u^{on.}$ [кНм]	$M_u^{n.y.}$ [кНм]	$\frac{M_u^{n.y.} - M_u^{on.}}{M_u^{on.}} \cdot 100\%$	M_u^{HDM} [кНм]	$\frac{M_u^{HDM} - M_u^{on.}}{M_u^{on.}} \cdot 100\%$
рШ 6АС	39,81	40,40	1,48	41,7	4,75
рШ 6А	31,45	33,92	7,85	35,6	13,2
рШ 10АС	71,3	73,06	2,47	72,8	2,10
рШ 10А	43,4	45,56	4,97	50,9	17,28
рШ 14АС	115,92	113,81	-1,8	120,1	3,61
рШ 14А	57,29	59,47	3,8	68,4	19,39
П1	19,73	19,1	-3,19	22,65	14,80
П4	11,48	11,312	-1,43	13,58	18,33
П5	17,7	17,20	-2,81	17,79	0,53
П6	20,02	20,67	3,25	20,1	0,40
П8	34,4	33,51	-2,59	33,9	-1,45
П9	12,64	12,84	1,58	15,87	25,55

Литература

1. Замалиев Ф.С., Тамразян А.Г. К расчету сталежелезобетонных ребристых плит для восстанавливаемых перекрытий // Строительство и реконструкция. 2021. № 5 (97). С. 3-15. URL: oreluniver.ru/public/file/archive/sir_2073-7416-2021-97-5-3-15.pdf
2. Шапошникова Ю.А. Анализ влияния различных факторов на прогибы профилированного настила в стадии бетонирования плиты // Инженерный вестник Дона. 2024. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9235
3. Тамразян А.Г., Арутюнян С.Н. Исследование начальных напряжений и прогибов профнастила, возникающих при возведении сталежелезобетонных плит перекрытий // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 139-146.

4. Zulpuev A.M., Abdullaev U.D., Iranova N.A., Kochkonbaev B.A., Kenzhebaeva B.P. Calculation of strength and movement of slabs steel profiled deckings under local loads. In the World of Science and Education. 2025. No. 1. Pp. 150-159.

5. Jiang J., Main J.A., Weigand J.M., Sadek F.H. Thermal performance of composite slabs with profiled steel decking exposed to fire effects. Fire Safety Journal. 2018. Vol. 95. Pp. 25-41. URL: doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.10.003.

6. Zhao H., Xie Z., Wang J., Xian W., Liu F., Yang D., Wang R. Post-fire performance of closed profiled steel deck composite slabs with recycled aggregate concrete. Engineering Structures. 2025. Vol. 333. URL: doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120186.

7. Тамразян А.Г., Арутюнян С.Н. К учету профилированного настила как рабочей арматуры при расчете монолитных сталежелезобетонных плит перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 64-68.

8. Bogdanić A., Casucci D., Ožbolt J. Numerical and experimental investigation of anchor channels subjected to shear load in composite slabs with profiled steel decking, Engineering Structures. 2021. Vol. 240. URL: doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112347.

9. Yehia S., Ali T., El Didamouny M. Structural Behavior of Concrete Slabs with Profiled Metal Decking: Experimental and Analytical Study. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 2023. Vol. 28. URL: doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1274

10. Манаенков И.К. К расчету железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5 (383). С. 238-242.

11. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of deflections in bending reinforced concrete elements taking into account the influence of the

shape of their cross-section. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 56-62.

12. Манаенков И.К. Оценка влияния формы диаграммы деформирования бетона на результаты расчета железобетонных балок // Инженерный вестник Дона. 2022. № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7834

13. Fedorova N., Medyankin M., Fedoro S. Strength of heavy concrete during static-dynamic deformation. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. No. 1. P. 012046. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1030/1/012046/pdf

References

1. Zamaliev F.S., Tamrazjan A.G. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2021. № 5 (97). Pp. 3-15. URL: oreluniver.ru/public/file/archive/sir_2073-7416-2021-97-5-3-15.pdf

2. Shaposhnikova Ju.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9235

3. Tamrazjan A.G., Arutjunjan S.N. Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija. 2017. № 1. Pp. 139-146.

4. Zulpuev A.M., Abdullaev U.D., Iranova N.A., Kochkonbaev B.A., Kenzhebaeva B.P. In the World of Science and Education. 2025. No. 1. Pp. 150-159.

5. Jiang J., Main J.A., Weigand J.M., Sadek F.H. Fire Safety Journal. 2018. Vol. 95. Pp. 25-41. URL: doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.10.003.

6. Zhao H., Xie Z., Wang J., Xian W., Liu F., Yang D., Wang R. Engineering Structures. 2025. Vol. 333. URL: doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.120186.

7. Tamrazyan A.G., Arutyunyan S.N. Promy'shlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. № 7. Pp. 64-68.

8. Bogdanić A., Casucci D., Ožbolt J. Engineering Structures. 2021. Vol. 240. URL: doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112347.



9. Yehia S., Ali T., El Didamouny M. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 2023. Vol. 28. URL: doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1274
10. Manaenkov I.K. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. 2019. № 5 (383). pp. 238-242.
11. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 56-62.
12. Manaenkov I.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7834
13. Fedorova N., Medyankin M., Fedoro S. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. No. 1. P. 012046. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1030/1/012046/pdf.

Дата поступления: 14.08.2025

Дата публикации: 25.09.2025