

ЛАЗАРЕВА Оксана Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры геодезии и кадастра, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: lazos_tvgu@mail.ru

About the authors:

PAVLOVA Polina Olegovna – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: pawlowa.polya2010@yandex.ru

LAZAREV Oleg Evgenievich – Senior Lecturer of the Department of Geodesy and Cadastre, Tver State Technical University, Tver. E-mail: lazarev_tvgu@mail.ru

LAZAREVA Oksana Sergeevna – Candidate of Economics, Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastre, Tver State Technical University, Tver. E-mail: lazos_tvgu@mail.ru

УДК 693.814.1.072.2

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БАЛОЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

С.Л. Субботин, В.Г. Волков

© Субботин С.Л., Волков В.Г., 2025

Аннотация. В статье рассмотрен способ проектирования наиболее эффективной с точки зрения металлоемкости конструкции балочного перекрытия. Проведен анализ графиков металлоемкости, при составлении которых учли различные параметры компоновки конструкции. Сделаны выводы о возможностях использования на практике методики подбора сечения балок перекрытия.

Ключевые слова: балки, перекрытие, металлоконструкции, эффективное строительство, численный эксперимент, металлоемкость.

Перекрытия балочного типа представляет собой сборную конструкцию, основные нагрузки в которой несут балки, уложенные на стены, или главные несущие балки металлокаркаса здания, поверх которых укладывается настил в виде плит, панелей или блоков. Балки в составе упомянутых перекрытий могут быть металлическими, деревянными или железобетонными [1].

К основным достоинствам такой конструкции можно отнести высокую несущую способность и возможность ее применения при пролетах до 24 м, к недостаткам – значительный вес, достаточно трудоемкий процесс возведения, плохую коррозионную стойкость (последний минус устраняют, предварительно обработав балки специальными составами) [2].

Решает проблему огромного веса изложенная ниже методика нахождения оптимального сечения металлического проката в виде двутавровых балок (двутавров).

Методика состоит в выполнении расчетов на прочность с одновременным обеспечением допустимого прогиба при различных вариантах выбора двутавров и их оценкой по металлоемкости.

Для расчета были использованы нормальные двутавры (ГОСТ Р 57837-2017 [5]), выполненные из сталей марок С245, С345. Расчет производился для помещений с длиной 30 м и шириной (расчетным пролетом) 6 и 12 м. Такие пролеты помещения были выбраны ввиду их наиболее частого применения в строительстве. Шаг балок варьировался от 0,5 до 3 м. Сбор нагрузок выполнялся в соответствии с СП 20.133300.2016 «Нагрузки и воздействия» [3] как для здания общественного назначения с нормативной распределенной нагрузкой на перекрытие, равной 4,0 кПа, а также нагрузкой от конструкции пола перекрытия и собственного веса монолитной железобетонной плиты перекрытия.

В соответствии с СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [4] для обеспечения прочности металлических балок должны реализовываться следующие расчетные условия:

1. Проверка при действии момента главной плоскости, определяемого по выражению

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} < R_y \cdot \gamma_c ,$$

где M_{max} – максимальный изгибающий момент в сечении;

W_x – момент сопротивления сечения;

R_y – расчетное сопротивление стали изгибу;

γ_c – коэффициент условий работы.

2. Проверка при действии в сечении поперечной силы τ_{max} , которая находится как

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} < R_s \cdot \gamma_c ,$$

где Q_{max} – максимальная поперечная сила, действующая на сечение;

S_x – площадь поперечного сечения;

I_x – момент инерции сечения;

t_w – толщина стенки двутавровой балки;

R_s – расчетное сопротивление стали сдвигу.

3. Проверка допустимого прогиба f_{max} по формуле

$$f_{max} = \frac{5}{384} \frac{q^h \times l^4 \alpha}{EJ} < f_u,$$

где q^h – нормативная нагрузка на перекрытие;

l – пролет балки;

α – коэффициент, принимаемый по источнику [4];

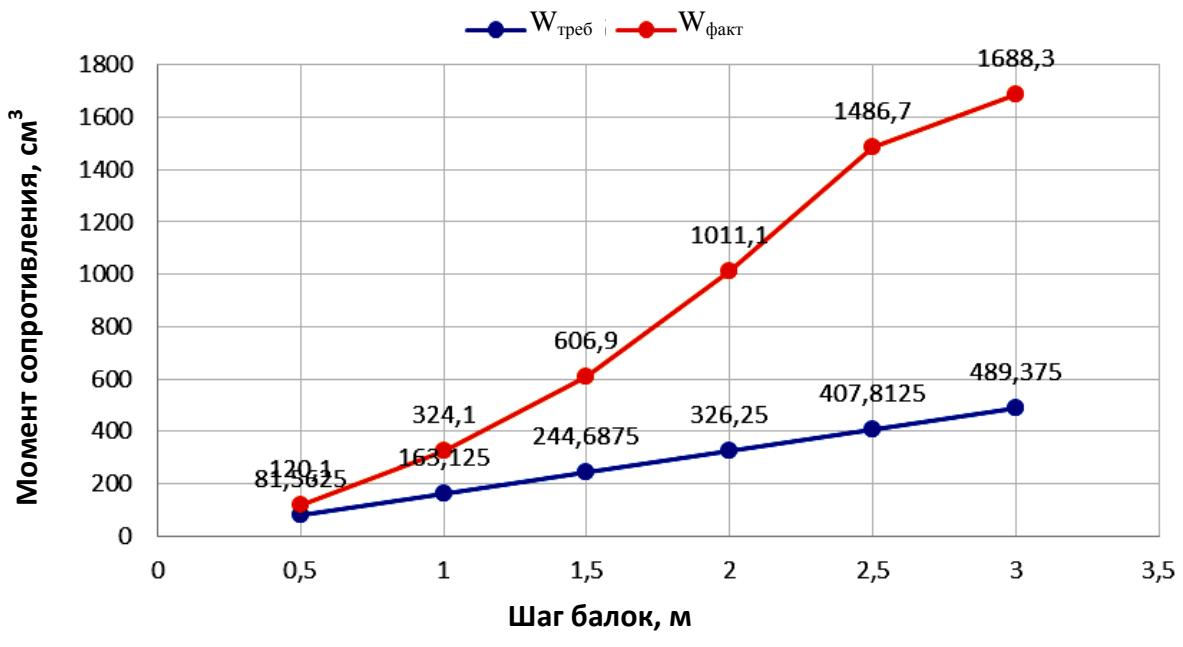
f_u – значение допустимого прогиба (также принимается по [4]).

Далее обозначили требуемый момент сопротивления как $W_{\text{треб}}$, а фактический – как $W_{\text{факт}}$.

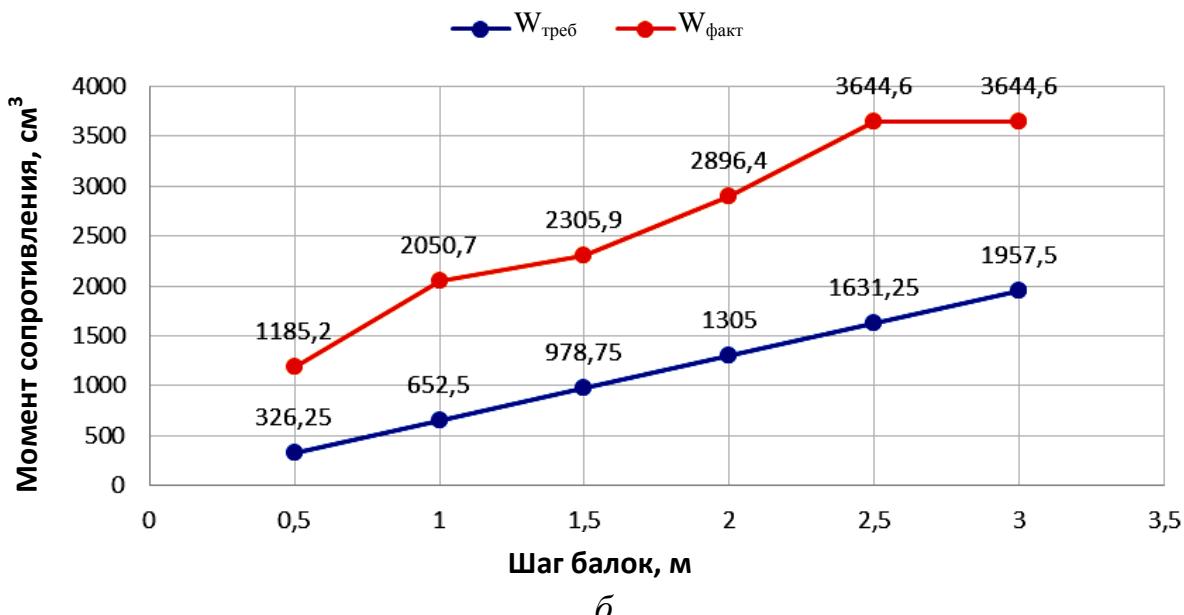
Результаты, полученные после проведения подбора сечения балок из стали С245 для пролетов 6 и 12 м, представлены ниже:

Пролет, м	Номер прокатного профиля	Шаг балок, м	$W_{\text{треб}}$, см^3	$W_{\text{факт}}$, см^3	Погонный вес профиля, кг	Металлоемкость, $\text{кг}/\text{м}^2$
6	18Б1	0,5	81,56	120,1	15,4	30,29
	25Б2	1,0	163,13	324,1	29,6	28,61
	30Б3	1,5	244,69	606,9	46,1	29,20
	40Б1	2,0	326,25	1 011,1	56,6	26,40
	45Б2	2,5	407,81	1 486,7	76,0	27,87
	50Б2	3,0	489,38	1 688,3	79,5	23,85
12	40Б2	0,5	326,25	1 185,2	66	64,90
	55Б1	1,0	652,5	2 050,7	89	43,02
	60Б1	1,5	978,75	2 305,9	94,6	30,00
	60Б3	2,0	1 305,0	2 896,4	118,8	27,72
	70Б1	2,5	1 631,25	3 644,6	129,3	23,70
	70Б1	3,0	1 957,5	3 644,4	129,3	19,40

По сведениям, изложенным выше, были построены графики зависимости требуемого и фактического моментов сопротивления от шага балок из стали С245 при заданных пролетах (рис. 1).



a



б

Рис. 1. Графики зависимости требуемого и фактического моментов сопротивления от шага балок из стали С245
при пролете: *a* – 6 м; *б* – 12 м

Затем провели подбор сечения балок из стали С345. Она была выбрана из-за более высоких прочностных характеристик (а конкретнее, из-за расчетного сопротивления, которое значительно увеличивает допустимые значения напряжений, что, в свою очередь, снижает вес сечения).

Результаты подбора сечения балок из стали С345 для пролетов 6 и 12 м представлены ниже:

Пролет, м	Номер прокатного профиля	Шаг балок, м	W _{треб} , см ³	W _{факт} , см ³	Погонный вес профиля, кг	Металлоемкость, кг/м ²
6	18Б1	0,5	57,58	120,1	15,4	30,29
	25Б1	1,0	115,15	285,3	25,7	24,84
	30Б1	1,5	172,72	424	32	20,27
	35Б1	2,0	230,30	641,3	41,4	19,32
	35Б2	2,5	287,87	774,8	49,6	18,19
	40Б2	3,0	345,44	1 185,2	66	19,8
12	40Б2	0,5	230,3	1 185,2	66	64,90
	55Б1	1,0	460,6	2 050,7	89	43,02
	60Б1	1,5	690,9	2 305,9	94,6	30,00
	60Б3	2,0	921,17	2 896,4	118,8	27,72
	70Б1	2,5	1 151,5	3 644,6	129,3	23,70
	70Б1	3,0	1 381,8	3 644,6	129,3	19,40

С учетом сведений, приведенных выше, были построены сводные графики зависимости требуемого и фактического моментов сопротивления от шага балок (рис. 2), а также графики зависимости металлоемкости от шага балок для пролетов 6 и 12 м (рис. 3).

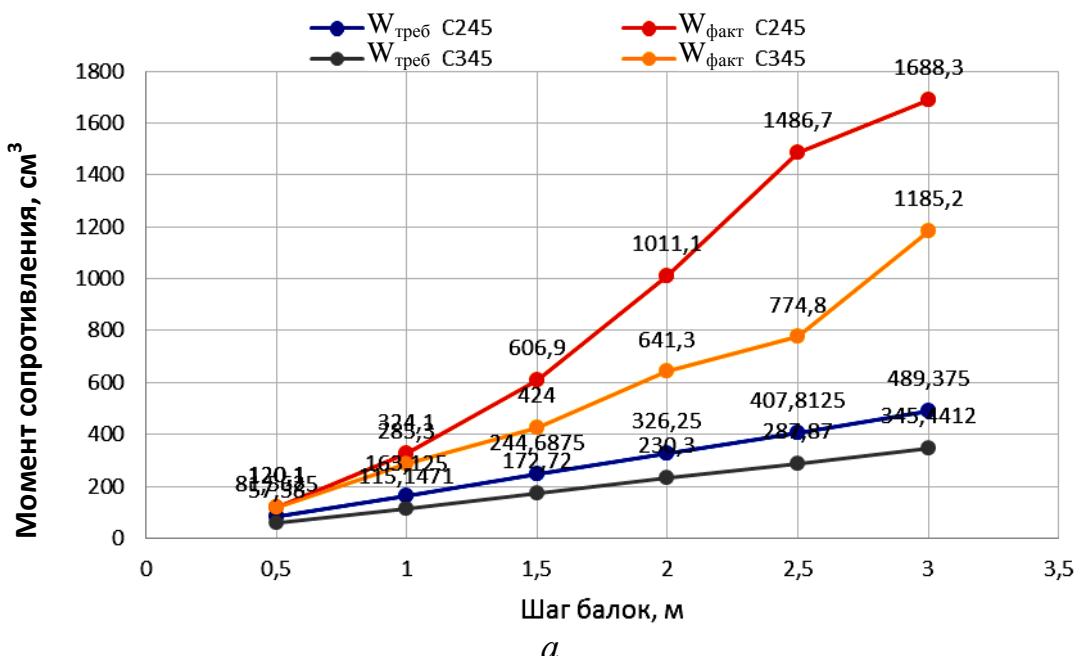


Рис. 2. Сводные графики зависимости требуемого и фактического моментов сопротивления от шага балок при пролете: *а* – 6 м; *б* – 12 м (некоторые кривые из-за одинаковых значений могут накладываться друг на друга)

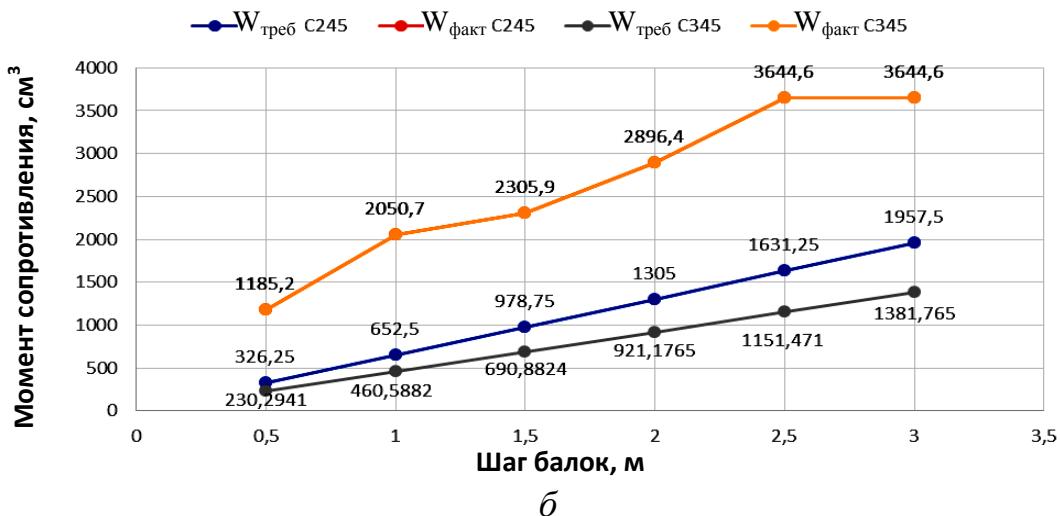


Рис. 2. Продолжение

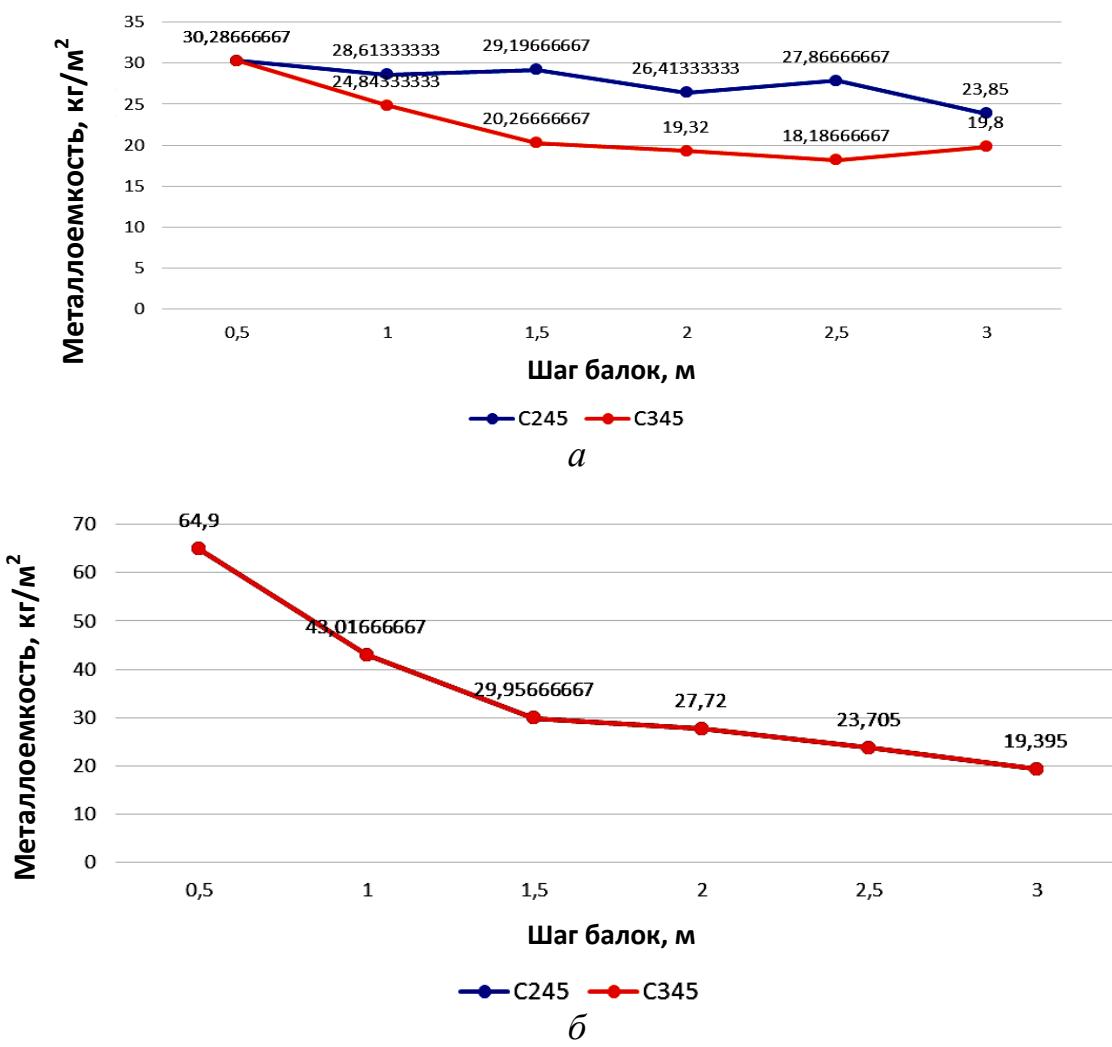


Рис. 3. График зависимости металлоемкости от шага балок из стали марок C245, C345 при пролете: *a* – 6 м; *б* – 12 м
(некоторые кривые из-за одинаковых значений могут накладываться друг на друга)

Анализ результатов численного эксперимента при подборе сечения балок перекрытия позволил выявить следующее:

1. Линейная тенденция повышения требуемого момента сопротивления дает возможность за счет увеличения шага балок и применения более прочной стали снизить требуемый момент сопротивления и расход стали. Так, при пролете 6 м и шаге 3 м уменьшение требуемого момента сопротивления составило 41,66 %.

2. Скачкообразная тенденция к возрастанию фактического момента сопротивления используемых прокатных двутавров при увеличении шага балок не сводит к минимуму разницу между требуемым и фактическим моментами сопротивления. Тем не менее при использовании стали марки С345 в случае пролета 6 м и шага 3 м показатель фактического момента сопротивления удалось снизить на 29,8 % по сравнению с применением в той же конфигурации стали марки С245 (при меньшей стоимости использование данной марки стали ставится под вопрос).

3. Металлоемкость перекрытия при применении стали марки С345 по сравнению со сталью марки С245 при пролете в 6 м упала на 24,8 % из-за смягченных требований к прогибам, а также повышенного расчетного сопротивления, благотворно влияющего на расчет касательных напряжений. Использование стали более высокой марки при пролете в 12 м экономии не дало.

Решением проблемы запаса несущей способности по нормальным и касательным напряжениям может стать использование составного сварного сечения двутавровых балок, которое позволит более точно подобрать параметры для выполнения условий прочности и вместе с тем снизить показатель металлоемкости конструкции.

По результатам, полученным в ходе эксперимента, можно сказать, что методика подбора оптимального сечения металлических балок перекрытия по металлоемкости является рабочей и позволяет экономить значительный объем металлоконструкций. Отметим, что данную методику можно адаптировать к другим типам сечений балок, их материалам и расчетным пролетам.

Библиографический список

1. Строительная компания «Олимпия». URL: <https://www.skmsk.ru/> (дата обращения: 21.04.2025).
2. Балочное перекрытие или монолитная плита? Сравниваем. URL: <https://domveloxa.ru/balochnoe-perekrytie-ili-monolitnaya-plita-sravnivaem/> (дата обращения: 21.04.2025).
3. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (утв. Приказом Минстроя России от 03.12.2016 № 891/пр). URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/>

document/2022-03-15/079727a84b6dfc87f4f6c2db1a5693ed.pdf (дата обращения: 21.04.2025).

4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293745/4293745484.htm> (дата обращения: 21.04.2025).

5. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742360.pdf> (дата обращения: 21.04.2025).

SELECTING THE OPTIMAL DESIGN OF A BEAM FLOOR BY NUMERICAL EXPERIMENT

S.L. Subbotin, V.G. Volkov

Abstract. The article considers the method of designing the most efficient beam floor structure in terms of metal consumption. The analysis of metal consumption graphs was carried out, which took into account various parameters of the structure layout. Conclusions are drawn about the possibilities of using in practice the method of selecting the cross-section of the floor beams.

Keywords: beams, floor, metal structures, efficient construction, numerical experiment, metal consumption.

Об авторах:

СУББОТИН Сергей Львович – доктор технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, профессор, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: sbtn@yandex.ru

ВОЛКОВ Владислав Геннадьевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vlados_pendos@mail.ru

About the authors:

SUBBOTIN Sergey Lvovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures and Buildings, Professor, Tver State Technical University, Tver. E-mail: sbtn@yandex.ru

VOLKOV Vladislav Gennadievich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vlados_pendos@mail.ru