УДК 69

Расчёт и сравнение расхода арматуры в монолитных железобетонных плитах при различных пролётах

Болтовский Лев Александрович
Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема
Студент

Приходько Себастьян Николаевич
Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема
Студент

Аннотация
Целью исследования является оценка влияния величины пролёта на изгибающий момент, требуемую площадь рабочей арматуры и ориентировочный расход стали в монолитной железобетонной плите перекрытия. В работе рассмотрена расчётная полоса плиты шириной 1 м, опёртая по двум коротким сторонам. Выполнен сбор постоянных и временной нагрузок, определены расчётные изгибающие моменты для пролётов 3, 4 и 5 м, произведён подбор нижней рабочей арматуры и сопоставлен расход арматуры на 1 м² нижней сетки. Полученные результаты показывают увеличение потребности в рабочей арматуре при увеличении пролёта. Практическая значимость заключается в возможности предварительно оценить влияние шага опор на материалоёмкость перекрытия на начальном этапе проектирования.
Ключевые слова: железобетонная плита, пролёт, рабочая арматура, изгибающий момент.

Calculation and comparison of reinforcement consumption in monolithic reinforced concrete slabs with different spans

Boltovskiy Lev Alexandrovich
Sholom-Aleichem Priamursky State University
Student

Prikhodko Sebastian Nikolayevich
Sholom-Aleichem Priamursky State University
Student

Abstract
The purpose of this study is to estimate how span length affects the bending moment, required area of tensile reinforcement and indicative steel consumption in a monolithic reinforced concrete floor slab. A one-metre-wide slab strip simply supported along two opposite sides is considered. Permanent and imposed loads are

assembled, design bending moments are determined for spans of 3, 4 and 5 m, bottom reinforcement is selected, and reinforcement consumption per square metre of the bottom mesh is compared. The results show that the demand for tensile reinforcement increases as the span increases. The findings may be used for preliminary assessment of the effect of support spacing on floor-system material consumption.

Keywords: reinforced concrete slab, span, tensile reinforcement, bending moment.

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Монолитные железобетонные перекрытия широко применяются в жилых и общественных зданиях благодаря возможности формировать планировочные решения различной конфигурации. Одним из факторов, влияющих на работу плиты и расход строительных материалов, является величина пролёта между опорами. При увеличении пролёта возрастает изгибающий момент от равномерно распределённой нагрузки, что, как правило, приводит к увеличению требуемой площади растянутой арматуры. Рациональный выбор параметров перекрытия позволяет согласовать требования к прочности и эксплуатационной пригодности с необходимым расходом стали.

1.2 Обзор исследований

Рассматривается влияние различных факторов на расход поперечной арматуры при конструировании сечений линейных изгибаемых железобетонных элементов в работе Ю. А. Шапошниковой, В. С. Кузнецова [1]. рассмотрены методы оптимизации расхода бетона и арматуры в железобетонных конструкциях. Проанализированы современные подходы к проектированию, включая применение высокопрочных материалов, технологий цифрового моделирования и рациональных конструктивных решений в исследовании С. Р. Сапиева [2]. Показано как будет снижаться нормативный расход арматуры при повышении марочности бетона за счёт активации цемента импульсным электромагнитным полем в исследовании И.В. Баклашова, А. В. Гончарова [3]. В исследовании А. Г. Тамразяна и Е. А. Филимоновой [4]. рассмотрены критерии формирования комплексной целевой функции железобетонной плиты с учётом анализа риска, включая требования экономичности и возможность учитывать расход материалов. В работе А.Г.Тамразяна и Е. А. Филимоновой рассчитана оптимизация железобетонной плиты перекрытия по критерию минимальной стоимости с учетом анализа риска [5].

1.3 Цель исследования

Цель исследования – выполнить расчёт и сравнить ориентировочный расход арматуры в монолитной железобетонной плите перекрытия при различных пролётах при неизменных: толщине плиты, классе бетона и принятой нагрузке.

Для достижения цели необходимо определить расчётную нагрузку на плиту, вычислить изгибающие моменты для выбранных пролётов, установить требуемую площадь нижней рабочей арматуры с учётом минимального армирования, подобрать диаметры и шаг стержней, а также сравнить массу арматуры на единицу площади.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено расчётно-аналитическим методом. Расчётная схема представляет собой полосу монолитной железобетонной плиты шириной b = 1,0 м, шарнирно опёртую по двум противоположным сторонам и воспринимающую равномерно распределённую вертикальную нагрузку. Рассматриваются пролёты l = 3,0; 4,0 и 5,0 м. Толщина плиты во всех вариантах принимается равной h = 200 мм, бетон – класса В25, продольная рабочая арматура – класса А500С.

Расчёт выполнен по упрощённой схеме изгибаемого прямоугольного сечения на основе метода предельных усилий, изложенного в СП 63.13330.2018 [6]. Нагрузки приняты для условного примера жилого перекрытия по положениям СП 20.13330.2016 [7]. Для предварительного сравнения учитывается нижняя рабочая сетка и постоянная распределительная арматура. Верхнее опорное армирование, нахлёсты, анкеровка, локальные усиления и технологические потери при подсчёте массы не учитываются.

3. Результаты и обсуждение

Железобетонная плита перекрытия – плоскостной несущий элемент, который воспринимает нагрузки от собственного веса, конструкции пола, людей, мебели и оборудования и передаёт их на стены, балки или колонны. В данной работе исследуется только изгибная работа полосы плиты в одном направлении. Такая модель позволяет выполнить сопоставительный расчёт, но не заменяет пространственный расчёт реального перекрытия.

Для выполнения расчёта примем следующие исходные данные. Удельный вес железобетона составляет 25 кН/м³, толщина плиты – 0,20 м. Нормативная нагрузка от конструкции пола принята 1,5 кН/м², временная равномерно распределённая нагрузка для жилого помещения – 1,5 кН/м². Значения относятся к расчётному примеру и должны уточняться для конкретного здания.

Собственный вес плиты:

$$g_1 = 25 \cdot 0{,}20 = 5{,}0 \text{ кН/м}^2.$$

Расчётная нагрузка от постоянных воздействий и временной нагрузки определяется с использованием принятых коэффициентов надёжности:

$$q = 5{,}0 \cdot 1{,}1 + 1{,}5 \cdot 1{,}2 + 1{,}5 \cdot 1{,}3 = 9{,}25 \text{ кН/м}^2.$$

Таблица 1 – Принятые нагрузки на плиту

Вид нагрузки	Нормативное значение, кН/м²	Коэффициент надёжности	Расчётное значение, кН/м²
Собственный вес плиты	5,00	1,10	5,50
Конструкция пола	1,50	1,20	1,80
Временная нагрузка	1,50	1,30	1,95
Итого	8,00	—	9,25

Для полосы шириной 1 м численное значение погонной нагрузки соответствует нагрузке на 1 м² плиты: q = 9,25 кН/м. При равномерно распределённой нагрузке и шарнирном опирании максимальный изгибающий момент в середине пролёта определяется выражением:

$$M = q \cdot l^2 / 8.$$

Для пролётов 3, 4 и 5 м получаем соответственно:

$$M_3 = 9{,}25 \cdot 3^2 / 8 = 10{,}41 \text{ кН·м/м};$$
$$M_4 = 9{,}25 \cdot 4^2 / 8 = 18{,}50 \text{ кН·м/м};$$
$$M_5 = 9{,}25 \cdot 5^2 / 8 = 28{,}91 \text{ кН·м/м}.$$

Для расчёта принимаются расчётное сопротивление бетона В25 сжатию R_β = 14,5 МПа и расчётное сопротивление арматуры А500С растяжению R_s = 435 МПа [2]. Защитный слой до рабочей арматуры условно принят равным 25 мм. Для стержней Ø10 рабочая высота сечения составляет $h_0 = 200 - 25 - 5 = 170$ мм, для Ø12 – $h_0 = 200 - 25 - 6 = 169$ мм. Для расчёта выделяется прямоугольное сечение шириной b = 1000 мм.

Требуемая площадь растянутой арматуры определяется из условия равновесия изгибающего момента и внутренних усилий. Для прямоугольного сечения принимаются зависимости:

$$\alpha_m = M / (R_\beta \cdot b \cdot h_0^2);$$
$$\xi = 1 - \sqrt{(1 - 2\alpha_m)};$$
$$x = \xi \cdot h_0;$$
$$A_{s,req} = R_\beta \cdot b \cdot x / R_s.$$

Минимальная площадь продольной растянутой арматуры для изгибаемого элемента принимается не менее 0,1 % от произведения ширины сечения на рабочую высоту согласно п. 10.3.6 СП 63.13330.2018 [6].

$$A_s,min = 0{,}001 \cdot b \cdot h_0 = 0{,}001 \cdot 1000 \cdot 170 = 170 \text{ мм}^2/\text{м}.$$

Для пролёта 3 м площадь арматуры, полученная по изгибающему моменту, меньше минимального значения; поэтому принимается A_s = 170 мм²/м до выбора конструктивного диаметра и шага. Для пролёта 4 м требуемая площадь составляет 255,9 мм²/м, для пролёта 5 м с учётом рабочей высоты h_0 = 169 мм – 408,0 мм²/м.

Площадь сечения одного стержня определяется по формуле $A_r = \pi d^2/4$, а площадь арматуры на полосу шириной 1 м – по выражению $A_s,prov = A_r \cdot 1000/s$, где d – диаметр стержня, s – шаг стержней в миллиметрах. Для каждого пролёта принят вариант армирования, площадь которого превышает требуемую: для 3 м – Ø10 с шагом 350 мм; для 4 м – Ø10 с шагом 250 мм; для 5 м – Ø12 с шагом 250 мм.

Для оценки несущей способности принятой арматуры определяются высота сжатой зоны $x = R_sA, prov/(R_\beta b)$ и момент сопротивления по предельным усилиям $M_r = R_sA, prov(h_0 - 0{,}5x)$. Расчётные значения сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта изгибаемой полосы плиты

Пролёт l, м	Момент M, кН·м/м	A_s,req, мм²/м	Принятая арматура	A_s,prov, мм²/м	M_r, кН·м/м
3,0	10,41	170,0*	Ø10 / 350 мм	224,4	16,27
4,0	18,50	255,9	Ø10 / 250 мм	314,2	22,59
5,0	28,91	408,0	Ø12 / 250 мм	452,4	31,92

Для пролёта 3 м принято минимальное армирование A_s,min = 170 мм²/м; площадь, полученная только из расчёта по моменту, составляет 142,5 мм²/м.

Во всех трёх вариантах расчётный момент не превышает момент, воспринимаемый принятой арматурой. Наименьший относительный запас по упрощённой проверке получен для пролёта 5 м, поэтому этот вариант особенно чувствителен к уточнению расчётной схемы, условий опирания и эксплуатационных нагрузок.

Масса одного погонного метра арматуры ориентировочно принимается равной 0,395 кг/м для Ø8, 0,617 кг/м для Ø10 и 0,888 кг/м для Ø12. В качестве распределительной арматуры для всех вариантов условно приняты стержни Ø8 с шагом 300 мм. Удельный расход нижней сетки определяется суммированием расхода рабочей арматуры вдоль пролёта и распределительной арматуры поперёк пролёта

$$G = (1000/s_1) \cdot m_1 + (1000/s_2) \cdot m_2, \text{ кг/м}^2$$

где s_1 и s_2 – шаги рабочей и распределительной арматуры, мм; m_1 и m_2 – масса 1 м соответствующего стержня, кг/м.

Таблица 3 – Сравнение расхода арматуры нижней сетки

Пролёт, м	Рабочая арматура	Расход рабочей арматуры, кг/м²	Распределительная арматура	Суммарный расход, кг/м²
3,0	Ø10 / 350 мм	1,763	Ø8 / 300 мм	3,080
4,0	Ø10 / 250 мм	2,468	Ø8 / 300 мм	3,785
5,0	Ø12 / 250 мм	3,552	Ø8 / 300 мм	4,869

При переходе от пролёта 3 м к пролёту 4 м расчётный расход арматуры нижней сетки увеличивается примерно на 22,9 %. Для пролёта 5 м прирост относительно варианта 3 м составляет около 58,1 %, а относительно варианта 4 м – около 28,6 %. Увеличение связано с ростом изгибающего момента пропорционально квадрату пролёта и необходимостью подбирать большую площадь рабочей арматуры.

Полученные значения представляют собой сравнительную оценку для принятой упрощённой схемы, а не ведомость арматуры для строительства. В полном расчёте необходимо проверить прогибы и раскрытие трещин по второй группе предельных состояний, поперечную силу, работу плиты в двух направлениях, условия опирания и верхнее армирование над опорами, а также учесть анкеровку, нахлёсты и локальные усиления.

4. Выводы

В ходе исследования выполнен расчёт рабочей арматуры монолитной железобетонной плиты для пролётов 3, 4 и 5 м при одинаковой толщине 200 мм, классе бетона В25 и принятой расчётной нагрузке 9,25 кН/м². Для рассмотренной схемы изгибающие моменты составили 10,41; 18,50 и 28,91 кН·м/м соответственно.

Расчёт показал, что требуемая площадь рабочей арматуры возрастает с увеличением пролёта. Для обеспечения принятой проверки прочности подобраны варианты Ø10 с шагом 350 мм для пролёта 3 м, Ø10 с шагом 250 мм для пролёта 4 м и Ø12 с шагом 250 мм для пролёта 5 м. Ориентировочный расход арматуры нижней сетки при этом составляет 3,080; 3,785 и 4,869 кг/м².

Практическая значимость работы заключается в возможности использовать приведённую последовательность расчёта для предварительной оценки влияния пролёта на материалоёмкость перекрытия. Полученные цифры справедливы только для принятых исходных условий и не могут использоваться непосредственно для строительства без полного расчёта железобетонной плиты по прочности, трещиностойкости и деформациям.

Библиографический список

1. Шапошникова Ю. А. Кузнецов В. С. Выбор поперечных стержней в железобетонных балках при обеспечении минимального расхода арматуры // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2, №. 2. С. 65-76. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=53728789. (Дата обращения 19.10.26)
2. Сапиев С. Р. Оптимизация расхода бетона и арматуры каркаса в современном строительстве // Инновационная наука. 2025. Т. 1, №. 5-1. С. 89-91. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82270567. (Дата обращения 19.10.26).
3. Баклашов И. В. Гончаров А. В. Обоснование нормативного расхода арматурной стали в железобетонных конструкциях в зависимости от марки бетона // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. №. 3. С. 39-43. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=15568262. (дата обращения 19.10.26).
4. Тамразян А. Г., Филимонова Е. А. Критерии формирования комплексной целевой функции железобетонной плиты с учетом анализа риска // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 68–74. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-formirovaniya-kompleksnoy-tselevoy-funktsii-zhelezobetonnoy-plity-s-uchetom-analiza-riska (дата обращения: 18.10.2026).
5. Тамразян А. Г., Филимонова Е. А. Оптимизация железобетонной плиты перекрытия по критерию минимальной стоимости с учетом анализа риска // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 9. С. 19–22.
6. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. URL: https://protect.gost.ru/sp/details/8b67e228-0c9f-4a62-b562-964b3a58c667. (дата обращения: 18.10.2026).
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. URL: https://protect.gost.ru/sp/details/bac9e1fe-45f1-401b-8e32-949f4ee27821 (дата обращения: 18.10.2026).