

9. Makarov A.V., Kalinovsky S.A., Fedorova V.S. Raschet konstruksii mostov s primeneniem metoda dinamicheskogo reduktirovaniya. [Calculation of bridge structures using the dynamic reduction method] *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo i arhitektura*. [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. Series: Construction and architecture]. - 2022. - Vipusk. 1 (87). - pp. 57-64.
10. Nikolaenko M.A., Minasov A.G., Savinova E.I. Novie metody proektirovaniya gelezobetonnih prolyotnih stroenii. [New methods for designing reinforced concrete spans]. *Ingenernii vestnik Dona*. [Engineering Bulletin of the Don]. 2017. no. 2 (45)
11. Opredelenie napryagonnogo sostoyaniya i dinamicheskikh koeffitsientov balochnih mostov. [Determination of the stress state and dynamic coefficients of beam bridges] I. S. Bondar, N. M. Makhmetova, M. Ya. Kvashnin, S. S. Khasenov *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobscheniya*. [Bulletin of the Siberian State Transport University]. 2023. no. 4 (67). pp. 92-100. DOI 10.52170/1815-9265_2023_67_92.
12. Pshenichkina V.P., Makhova S.I., Shubin M.A. I dr. Dinamicheskii raschet balki na stohasticheskom lineyno deformiruemom poluprostranstve. [Dynamic calculation of a beam on a stochastic linearly deformable half-space]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo i arhitektura*. [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. - 2011. - Vip. 25 (44). - pp. 42-49.
13. Pshenichkina V.P., Rekunov S.S., Ivanov S.Yu. I dr. Sravnitel'nyi analiz rezultatov raschota sistemi «Zdanie - osnovanie» predstavlennoi v vide sloistoi modeli. [Comparative analysis of the calculation results of the "building - foundation" system, presented in the form of a layered model]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo u arhitektura*. [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture]. - 2023. - Vip. 1 (90). - pp. 43-53.
14. Savina M. V. Ispolzovanie iskusstvennogo intelekta dlya otsenki i kontrolya tehnikeskogo sostoyaniya zdanii i sooruzhenii. [The use of artificial intelligence for assessing and monitoring the technical condition of buildings and structures] *Innovatsionnii potentsial razvitiya obshchestva : vzglyad molodih uchenih: sbornik nauchnih statei 4-I Vserjssiiskoi nauchnoi konferentsii perspektivnih razrabotok*. [Innovative potential of the development of society: the view of young scientists: a collection of scientific articles of the 4th All-Russian scientific conference of promising developments]. Kursk, 2023. pp. 404-408.
15. Salamakhin P.A., Volya O.V., Lukin N.P. i dr. pod red. Salamakhina P.M. Mosti i sooruzheniya na dorogah [Bridges and structures on roads.] *Uchebnyk dlya vuzov* [Textbook for universities]. V 2 chastyah. Chast 1 [In 2 parts. Part 1]. – M Transport [M.: Transport]. 1991. 448 p.
16. Salamakhin P.A., Volya O.V., Lukin N.P. i dr. Pod red. Salamakhina P.M. Mosti i sooruzheniya na dorogah. [Bridges and structures on roads]. *Uchebnyk dlya vuzov*. [Textbook for universities]. V 2 chastyah. Chast 2. [In 2 parts. Part 2]. – M.: Transport. 1991. 448 p.
17. Skvortsov A. V. Modeli dannih BIM dlya infrastruktury. [BIM data models for infrastructure] *SAPR I GIS avtomobilnih dorog*. [CAD and GIS of highways]. 2015. no. 1 (4). URL: [https://www.cadgis.ru/2015/4/CADGIS-2015-1\(4\)-02.Skvortsov\(BIM-models-for-infra\).pdf](https://www.cadgis.ru/2015/4/CADGIS-2015-1(4)-02.Skvortsov(BIM-models-for-infra).pdf) (access date: 05/25/2024).
18. Xiaoyan Shen. Bridge facility health detection method based on DATA random subspace // Results in Engineering. 2025. Vol. 26
19. Xin Yao. New prospects for designing bridge superstructure reinforcements: structural aspects // Structures. 2022. Vol. 45.
20. Zhou M., Lu W., Song J., Lee G. C. Application of ultra-high performance concrete in bridge engineering // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 186. Pp. 1256—1267.

© А. В. Макаров, Д. В. Ивасик, А. А. Васильченко

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Ивасик Д. В., Васильченко А. А. Экономичное пролетное строение моста с эффективными пролетами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 86–93.

УДК 69.057.596
DOI 10.52684/2312-3702-2026-56-2-93-101

СИЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕМЫЧЕЧНЫХ БАЛОК С НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКой ИЗ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА

П. А. Кореньков, В. В. Герман

Кореньков Павел Анатоліевич, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (495) 287-49-14 доб. 1765; e-mail: kpa_gbk@mail.ru;

Герман Владислав Вадимович, магистрант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (919) 720-15-44; e-mail: vladislav.german@mail.ru

Приведены результаты расчетного анализа напряженно-деформированного состояния железобетонных перемычечных балок с несъемной U-образной опалубкой из газобетона. В исследовании рассмотрено 21 расчетная модель с шириной сечения 200, 300 и 400 мм и различными вариантами продольного армирования с учетом нелинейной работы материалов и особенности совместной работы материалов с разными физико-механическими характеристиками. Численные расчеты выполнены в программном комплексе ЛИРА-САПР и сопоставлены с традиционными методиками расчета по предельным состояниям. На основе полученных данных выявлены закономерности формирования механизма разрушения. Установлено, что характер разрушения существенно зависит от ширины сечения и диаметра рабочей арматуры. Определены оптимальные диапазоны диаметров, способствующие пластическому



хрупкому разрушению: для балок шириной 200 мм — 10–14 мм, 300 мм — 12–16 мм, 400 мм — 14–18 мм. Показано, что при малом проценте армирования ($2\phi 8$ – $2\phi 10$) расхождения между методами достигают 25–30 %, тогда как при интенсивном армировании ($2\phi 18$) они снижаются до 6–8 %. Это подтверждает преимущество метода нелинейной деформационной модели для более строгой оценки трещинообразования и деформативности конструкций. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования методик проектирования и подбора рационального армирования. Вместе с тем, отмечена необходимость экспериментальной проверки результатов с учетом адгезии между материалами и влияния ползучести бетона перед практическим внедрением в строительную практику.

Ключевые слова: железобетон, ячеистый газобетон, напряженно-деформированное состояние; нелинейная деформационная модель.

IDENTIFYING THE NATURE OF DEFORMATION OF LINTEL BEAMS WITH PERMANENT AERATED CONCRETE FORMWORK

P. A. Korenkov, V. V. German

Korenkov Pavel Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Industrial and Civil Engineering Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (495) 287-49-14; e-mail: kpa_gbk@mail.ru;

German Vladislav Vadimovich, undergraduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (919) 720-15-44; e-mail: vladislav.german@mail.ru

The results of a computational analysis of the stress-strain state of reinforced concrete lintel beams with permanent U-shaped formwork made of aerated concrete are presented. The study examines 21 design models with cross-section widths of 200, 300, and 400 mm and various longitudinal reinforcement options, taking into account the nonlinear behavior of the materials and the specific features of their combined action with different physical and mechanical properties. Numerical calculations were performed using the LIRA-SAPR software package and compared with traditional design methods based on limit states. Based on the obtained data, patterns of the failure mechanism formation were identified. It was established that the failure mode significantly depends on the cross-sectional width and the diameter of the main reinforcement. Optimal diameter ranges that promote plastic brittle failure were determined: for beams with a width of 200 mm – 10–14 mm, for 300 mm – 12–16 mm, for 400 mm – 14–18 mm. It is shown that with a low reinforcement ratio ($2\phi 8$ – $2\phi 10$), the discrepancies between the methods reach 25–30 %, whereas with high reinforcement ($2\phi 18$) they decrease to 6–8 %. This confirms the advantage of the nonlinear deformation model for a more rigorous assessment of cracking and deformability of structures. The obtained data can be used to improve design methods and select rational reinforcement. At the same time, the need for experimental verification of the results is noted, taking into account the adhesion between the materials and the effect of concrete creep, before practical implementation in construction practice.

Keywords: stress-deformation state, NDM method, aerated concrete.

Введение

Применение U-образных газобетонных блоков в качестве несъемной опалубки для формирования перемычечных конструкций представляет собой перспективное конструктивное решение, повышающее энерго- и ресурсосбережение при возведении зданий с несущими стенами из ячеистых бетонов; подходы к конструкции и исполнению таких изделий описаны в серийных документах и стандартах (Серия 1.038.1-1 Выпуск 1, 8, 13, ГОСТ 948-2016). В доступной литературе отечественные исследования в основном посвящены технологическим аспектам изготовления и применению газобетонных перемычек, методам монтажа и особенностям конструктивного исполнения [1-8], тогда как зарубежные работы акцентируют внимание на экспериментальной и теоретической оценке прочности и расчетных моделях предварительно изготовленных изделий [9-12]. При этом систематические сведения о совместной работе несъемной газобетонной опалубки и монолитного железобетона в плане напряженно-деформированного состояния при эксплуатационных нагрузках остаются фрагментарными.

С учетом требований к учету нагрузок и воздействий при поверочных расчетах и положений по учету физической нелинейности, трещинообразованию и неупругим деформациям в расчетах железобетонных конструкций, проблема взаимодействия разномодульных материалов в перемычечных балках

приобретает прикладное значение: отличие физико-механических характеристик и параметров армирования формирует сложное напряженно-деформированное состояние, которое существенно влияет на трещинообразование и характер разрушения.

В настоящей работе представлены результаты параметрического численного моделирования напряженно-деформированного состояния перемычечных балок с несъемной опалубкой из ячеистых бетонов при различном диаметре рабочей продольной арматуры и ширины поперечного сечения. Цель данной работы заключается в выявлении характера деформирования и разрушения указанных конструкций, при различных параметрах армирования и геометрических характеристиках. Полученные данные, карты трещинообразования и анализа распределения деформаций позволят обосновать оптимальные конструктивные решения, обеспечивающие преимущественно пластический механизм разрушения и соответствующие требованиям предельных состояний первой и второй групп предельных состояний.

Модель монолитного железобетонного каркаса

Для исследования особенностей деформирования и силового сопротивления железобетонных перемычек с несъемной опалубкой из ячеистого бетона были рассмотрены три типоразмера U-образных блоков, имеющих ширину 200, 300 и 400 мм

при одинаковой высоте 250 мм. В качестве конструктивных материалов приняты: арматура класса А500С, тяжелый бетон класса В25, газобетон марки по плотности D500 и прочности на сжатие В2,5. Армирование перемычек выполнено двумя продольными стержнями одинакового диаметра, значения которых варьировались в диапазоне от 6 до 18 мм (6, 8, 10, 12, 14, 16 и 18 мм). Верхнее арми-

рование, предусмотренное конструктивно для восприятия усадочных деформаций и поддержания формы каркаса, выполнено арматурой класса Вр-500 диаметром 5 мм.

Для численного моделирования была создана 21 расчетная модель балок с различными геометрическими параметрами и армированием. Расчетные сечения всех типов рассматриваемых балок представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Сечения перемычных балок (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Cross-sections of lintel beams (illustration by the authors)

В качестве расчетной нагрузки принята равномерно распределенная нагрузка 20 кН/м.пог. Принятое значение получено суммированием среднего нормативного значения временной нагрузки для гражданских и общественных зданий 2,5 кПа, собственного веса многопустотных железобетонных плит перекрытий 3,25 кПа и веса конструкции пола 0,75 кПа. Коэффициенты надежности по нагрузке приняты равными 1,1 для постоянных и 1,2 для временных нагрузок при анализе прочности; при оценке деформативности использованы нормативные значения. Для перехода к равномерно распределенной линейной нагрузке принята ширина грузовой площади 3,0 м (половина типичного модульного размера 6,0 м для зданий гражданского назначения); выбранное значение укладывается в пределы, рекомендуемые типовыми каталогами для подбора перемычек (Серия 1.038.1-1 Выпуск 1, 8, 13).

В качестве метода оценки напряженно-деформированного состояния и критериев достижения предельных состояний использована нелинейная деформационная модель [13–17]. Параметры диаграмм бетона и арматуры приняты в соответствии с положениями (СП 63.13330.2018, 20); параметры газобетона – также по (СП 63.13330.2018, 20). Все расчеты выполнены в предположении сохранения гипотезы плоских сечений и совместного деформирования железобетонной и газобетонной составляющих без учета относительного сдвига. Расчетная схема нормального сечения рассматриваемого элемента представлена на рисунке 2.

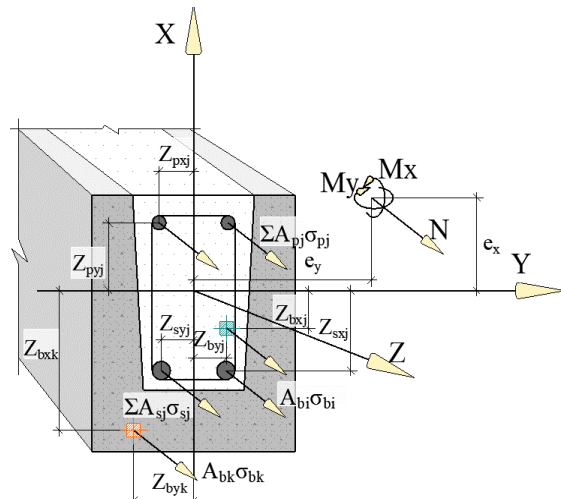


Рис. 2. Расчетная схема нормального сечения (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Calculation scheme of normal section (illustration by the authors)

Расчет элементов железобетонных конструкций по деформациям производится с учетом эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкциям, и включает определение кривизны и прогибов. Для статически определимых балок, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, значение прогиба определяется по формуле (СП 63.13330.2018):

$$f_{\max} = S \cdot l_0 \cdot \left(\frac{1}{r} \right)_{\max}, \quad (1)$$

где $\left(\frac{1}{r} \right)_{\max}$ – кривизна в сечении с наибольшим изгибающим моментом, l_0 – расчетный пролет, S –

коэффициент, принимаемый равным 5/48 для статически определимых балок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой (СП 63.13330.2018).

Значение кривизны в плоскости действия изгибающего момента определяется из следующих выражений, учитывая расположение железобетонного сердечника перемычки при толщине камня 200, 300 и 400 мм:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_y}{B}, \quad (2)$$

где M_y – изгибающий моменты в плоскости y от внешней нагрузки, определяемый из статического расчета конструкции; N – продольная сила от внешней нагрузки; B – изгибная жесткость, определяемая из выражения:

$$B = \sum_i A_{bi} \cdot z_{byi}^2 \cdot E_{bi} \cdot v_{bi} + \sum_i A_{bk} \cdot z_{byk}^2 \cdot E_{bk} \cdot v_{bk} + \sum_j A_{sj} \cdot z_{syj}^2 \cdot E_{sj} \cdot v_{sj}, \quad (3)$$

где $A_{bi}, Z_{bxi}, Z_{byi}, \sigma_{bi}$ – площадь, координаты центра тяжести i -го участка бетона и напряжение на уровне его центра тяжести; $A_{bk}, Z_{bzk}, Z_{byk}, \sigma_{bk}$ – площадь, координаты центра тяжести i -го участка ячеистого бетона и напряжение на уровне его центра тяжести; $A_{sj}, Z_{sxj}, Z_{syj}, \sigma_{sj}$ – площадь, координаты центра тяжести j -го стержня арматуры и напряжение в нем; E_b – начальный модуль упругости бетона; E_{bk} – начальный модуль упругости ячеистого бетона; E_{sj} – модуль упругости j -го стержня арматуры; v_{bi} – коэффициент упругости бетона i -го участка; v_{bk} – коэффициент упругости ячеистого бетона i -го участка; v_{sj} – коэффициент упругости j -го стержня арматуры.

Коэффициенты v_{bi}, v_{bk} и v_{sj} принимают по соответствующим диаграммам состояния тяжелого и ячеистого бетона, арматуры.

Значения коэффициентов v_{bi}, v_{bk} и v_{sj} определяют как соотношение значений напряжений и деформаций для рассматриваемых точек соответствующих диаграмм состояния тяжелого и ячеистого бетона, арматуры, принятых в расчете, деленное на модуль упругости соответствующего бетона и арматуры.

$$v_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_b \cdot \varepsilon_{bi}}. \quad (4)$$

$$v_{bk} = \frac{\sigma_{bk}}{E_{bk} \cdot \varepsilon_{bk}}. \quad (5)$$

$$v_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj} \cdot \varepsilon_{sj}}. \quad (6)$$

Переход от эпюры напряжений в тяжелом и ячеистом бетоне к обобщенным внутренним усилиям

определен с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение условно разделено на малые участки в плоскости оси симметрии поперечного сечения элемента. Напряжения в пределах малых участков приняты усредненными [17].

Учитывая характер совместной работы двух бетонов и растянутой арматуры в сечении железобетонного элемента, условие соответствия первой группе предельных состояний будет иметь вид:

$$M_{\text{изр}}^I \leq \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{byi} + \sum_i \sigma_{bk} \cdot A_{bk} \cdot Z_{byk} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{syj}. \quad (7)$$

В свою очередь, соответствие второй группе предельных состояний в части деформативности будет ограничиваться следующим выражением, полученным при совместном решении (1), (2) и известной формулы по определению изгибающего момента в свободно опертой балке:

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot l^2}{8}. \quad (8)$$

$$l_{\text{max}}^{\text{II}} \leq \sqrt{\frac{8 \cdot B \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_{\text{max}}^{\text{II}}}{q}}. \quad (9)$$

При этом в качестве ограничений по величине максимального прогиба использованы критерии действующего нормативного документа. Для учета реальных условий нагружения и доли длительной нагрузки анализ проводился по соответствующим комбинациям нагрузок, (характерная, эксплуатационная и квазипостоянная комбинации), с применением нормативных коэффициентов длительности и сочетаний нагрузок (СП 20.13330.2016).

Анализ полученных результатов исследования

Анализ результатов показал, что для перемычек шириной 200 мм при армировании 2d8–2d14 разрушение происходит по арматуре, что соответствует пластическому характеру разрушения. При этом напряжения в сжатом бетоне составляют 75–92 % от расчетного сопротивления R_b . При увеличении диаметра арматуры до 2d16 и 2d18 разрушение приобретает хрупкий характер, так как прочность бетона достигает предельных значений при уровне напряжений в растянутой арматуре 62 % и 49 % от расчетного сопротивления R_s соответственно. Относительная высота сжатой зоны в момент разрушения варьируется в интервале от 0,22 до 0,49, что согласуется с данными работ (СП 20.13330.2016).

При армировании 2d8 наблюдается характерное для пластического разрушения распределение напряжений, с постепенным нарастанием деформаций в растянутой зоне. При армировании 2d18 происходит резкое снижение несущей способности после достижения предельных деформаций в бетоне, что свидетельствует о хрупком характере разрушения.

Результаты расчета перемычки шириной 200 мм, армированной диаметром 8 и 18 мм показаны на рисунке 3.

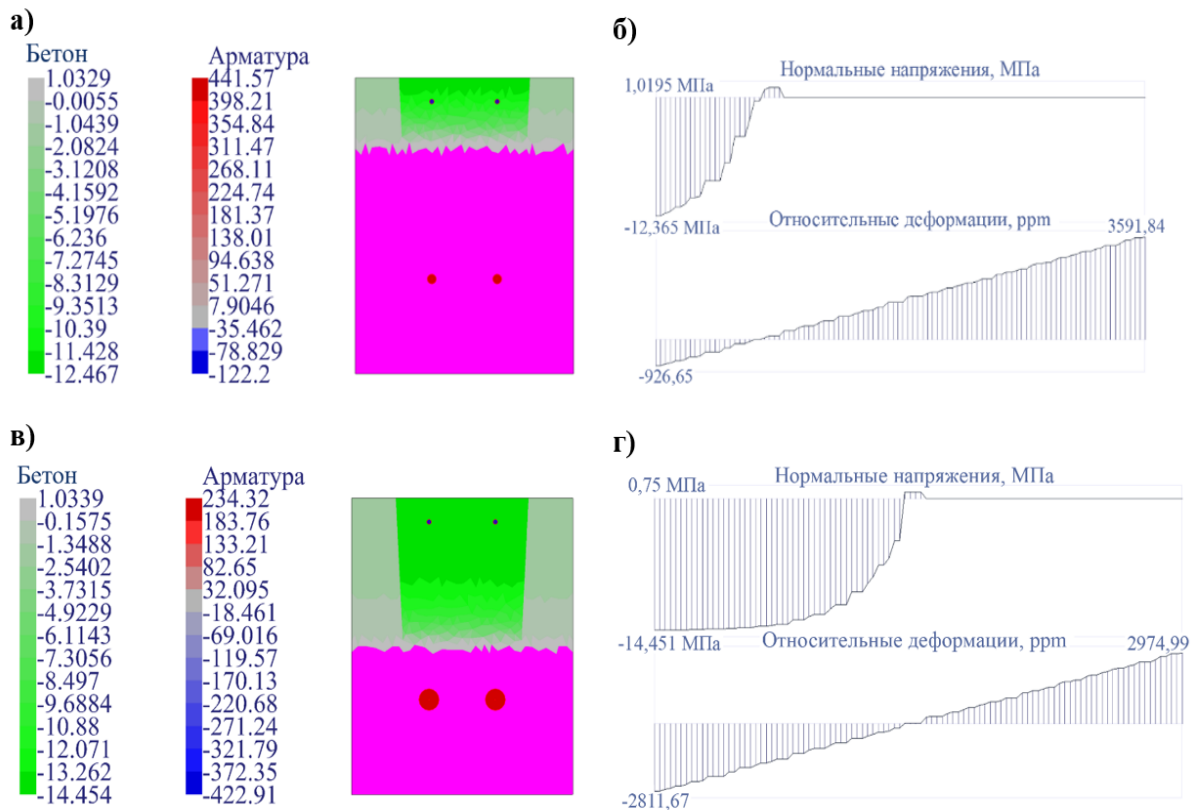


Рис. 3. Распределение напряжений и деформаций в сечении перемычкового блока шириной 200 мм при армировании: а) 2d8; б) 2d8; в) 2d18; г) 2d18 (иллюстрации авторов)
 Fig. 3. Distribution of stresses and deformations in the cross-section of a 200 mm wide lintel block with reinforcement: а) 2d8; б) 2d8; в) 2d18; г) 2d18 (illustrations by the authors)

При оценке прочности сечений перемычек шириной 300 мм установлено, что с армированием от 2d8 до 2d14 разрушение происходит от достижения арматурой предела текучести, при этом напряжения в сжатой зоне находятся в интервале от 68 до 85 % от R_b соответственно. С использованием арматуры 2d16 и 2d18 разрушение происходит при достижении бетоном прочности на сжатие, в то время как напряжения в арматуре составляют 79 и 69% от расчетной прочности на растяжение R_s . Распределение напряжений и деформаций в сечении перемычкового блока шириной 300 мм при армировании 2d8 и 2d18 показано на рисунке 4.

Отличительной особенностью является более равномерное распределение напряжений по сравнению с перемычками шириной 200 мм, что обусловлено увеличенной площадью сечения газобетона [20].

Анализ напряженного состояния перемычек шириной 400 мм выявил различный уровень

напряжений в арматурных стержнях по ширине сечения. Это объясняется внецентренным расположением железобетонного включения относительно оси симметрии поперечного сечения, что подтверждает корректность учета напряженно-деформированного состояния.

Характер исчерпания несущей способности аналогичен ранее рассмотренным типам сечений, однако хрупкое разрушение начинается уже с армирования 2d14. С армированием от 2d8 до 2d12 напряжения в бетоне составляют от 65% до 88% от R_b . При армировании 2d14, 2d16 и 2d18 разрушение происходит по бетону, уровень напряжений в растянутой арматуре 87, 79 и 72 % от R_s соответственно. Распределение напряжений и деформаций в сечении перемычкового блока шириной 400 мм армированного 2d8 и 2d18 показано на рисунке 5.

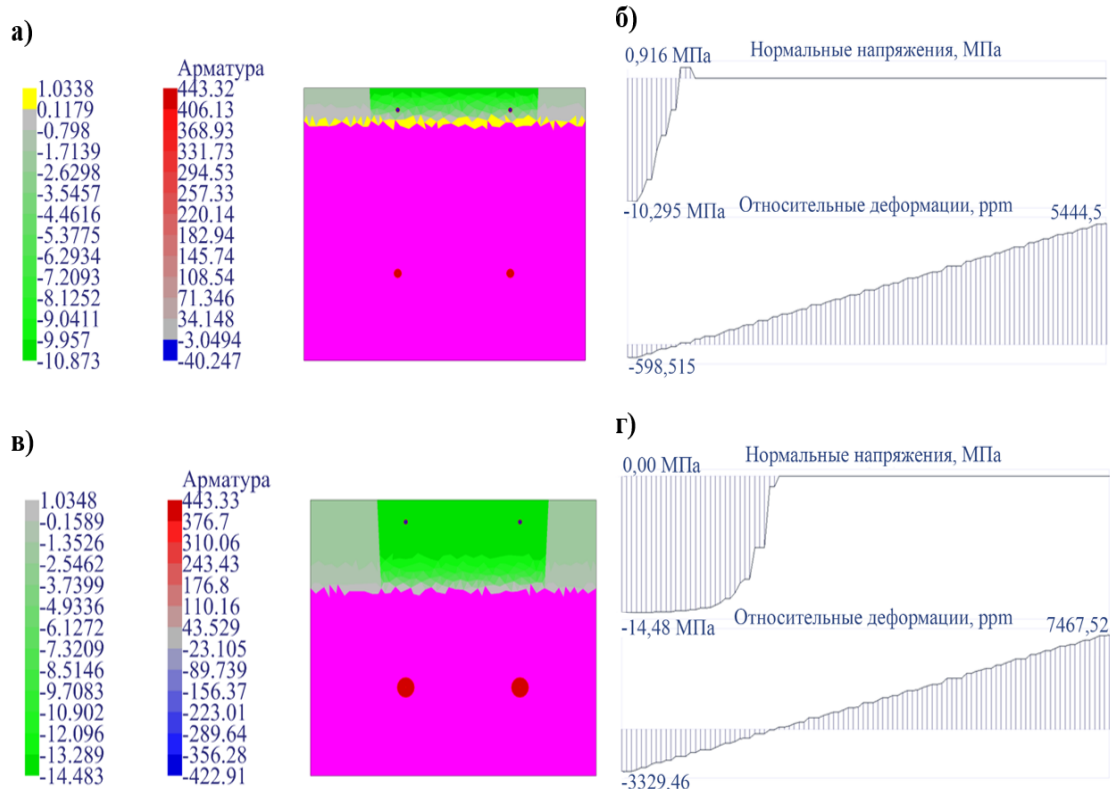


Рис. 4. Распределение напряжений и деформаций в сечении перемычкового блока шириной 300 мм при армировании: а) 2d8; б) 2d8; в) 2d18; г) 2d18 (иллюстрации авторов)
 Fig. 4. Distribution of stresses and deformations in the cross-section of a 300 mm wide lintel block with reinforcement: а) 2d8; б) 2d8; в) 2d18; г) 2d18 (illustrations by the authors)

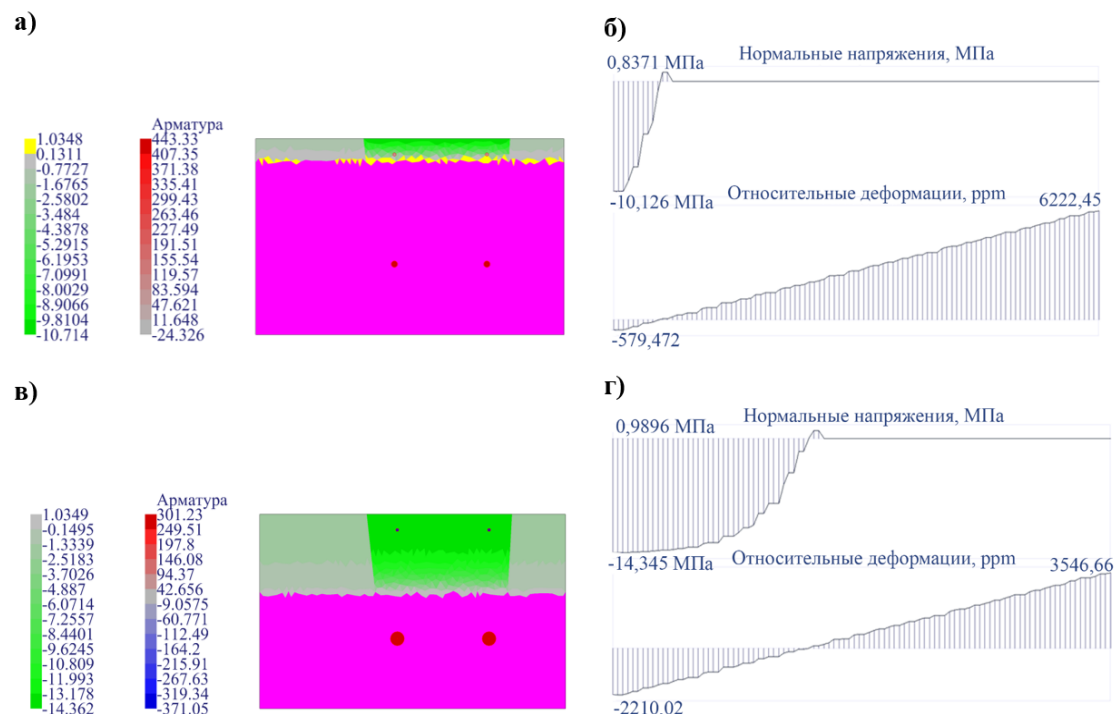


Рис. 5. Распределение напряжений и деформаций в сечении перемычкового блока шириной 400 мм при армировании: а) 2d8; б) 2d8; в) 2d18; г) 2d18 (иллюстрации авторов)
 Fig. 5. Distribution of stresses and deformations in the cross-section of a 400 mm wide lintel block with reinforcement: а) 2d8; б) 2d8; в) 2d18; г) 2d18 (illustrations by the authors)

Особенностью представленного процесса является более интенсивное развитие трещин в газобетонной части сечения, что связано с увеличенной площадью контакта материалов [ГОСТ 27006-2019, 20].

Для сравнительной оценки полученных результатов использованы рекомендованные методики оценки прогибов согласно СП 63.13330.2018,

пособия к СП 63.13330 и программного комплекса «ЭС-ПРИ» [19]. В пособии к СП 63.13330 результаты расчетов по формулам сведены в таблицы для определения различных коэффициентов, тогда как при расчете по методике СП все значения вычислялись непосредственно для каждого расчетного случая (рис. 6).

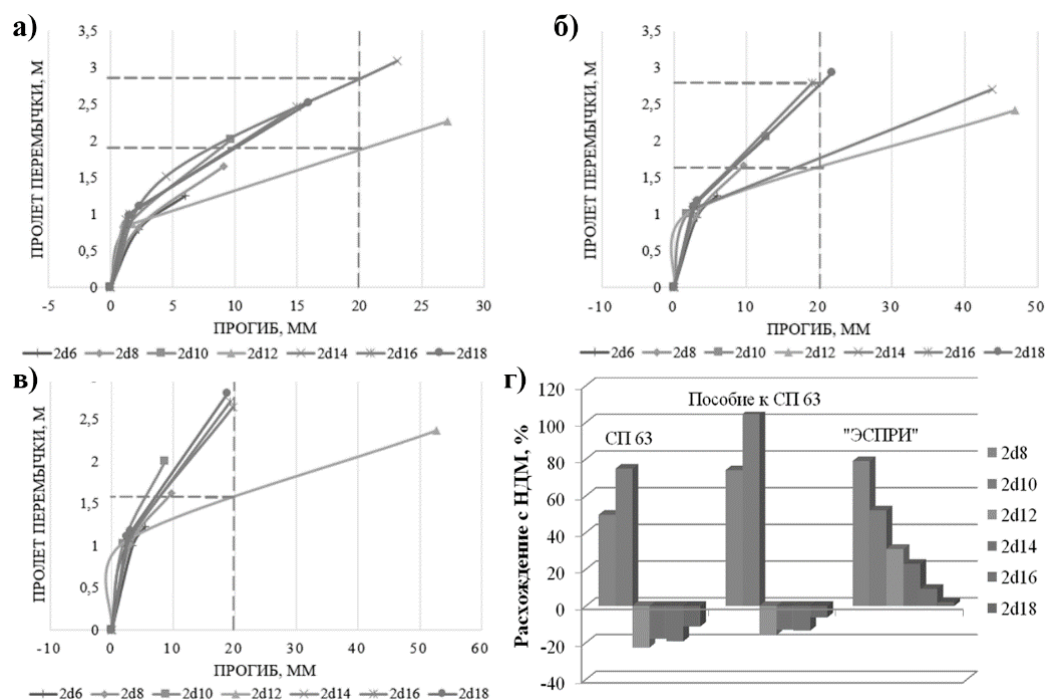


Рис. 6. Влияние продольного армирования на деформативность перемычек при толщине блоков: а) 200 мм; б) 300 мм; в) 400 мм; г) величина расхождения при определении прогибов различными методами (иллюстрации авторов)

Fig. 6. The effect of longitudinal reinforcement on the deformability of lintels with block thickness: а) 200 mm; б) 300 mm; в) 400 mm; г) the magnitude of the discrepancy in determining deflections using different methods (illustrations by the authors)

Уровень напряжений в бетоне в момент разрушения для всех трех типоразмеров возрастает вплоть до d12, а после этого сечение работает с полным использованием прочности бетона. Следует отметить, что добиться этого удалось использованием в сжатой зоне арматуры, без ее установки хрупкое разрушение наступало при уровне напряжений в арматуре 0.8 Rs.

Анализ расхождений показывает, что при малом проценте армирования (2d8 и 2d10) различия в определении прогибов могут достигать 25–30 %. Это объясняется тем, что при расчете по методам [СП 63.13330.2018, Пособие к СП 63.13330, 19] учитывается повышенная жесткость на участках между трещинами, что не учитывается при рассмотрении максимальной кривизны сечения методом нелинейной деформационной модели. С увеличением диаметра арматуры расхождение уменьшается и при 2d18 составляет всего 6–8 %, что связано с более интенсивным развитием трещин и, как следствие, снижением влияния участков между трещинами.

Заключение

В результате исследования установлены закономерности напряженно-деформированного состояния

железобетонных перемычных балок с несъемной опалубкой из газобетона при различных параметрах армирования. Для перемычек шириной 200 мм оптимальным является армирование диаметром 10–14 мм, для 300 мм – 12–16 мм, а для 400 мм – 14–18 мм, что обеспечивает пластический характер разрушения.

Сравнительный анализ методов расчета показал, что применение нелинейной деформационной модели обеспечивает более точную оценку напряженно-деформируемого состояния по сравнению с традиционными методами, особенно при малых процентах армирования. Расхождение результатов при армировании 2d8 и 2d10 достигает 25–30 %, снижаясь до 6–8 % при 2d18.

Установленные закономерности и выявленные методические расхождения обосновывают предложенные диапазоны диаметров арматуры как технические решения для обеспечения преимущественно пластического характера разрушения. Окончательная имплементация рекомендаций требует экспериментальной валидации с учетом технологических факторов, адгезии между материалами и длительных деформаций.

Список литературы

1. Шевченко А.В., Побожий А.Н. Расчет прочности утепленных сборно- монолитных перемычек из u-блоков // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, – 2015. – С. 2428-2429.
2. Белов А.В., Захарова Я.Ю., Смирнова Н.Д. Оценка несущей способности армированных перемычек из газобетонных блоков по результатам натуральных испытаний // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 9(129). – С. 515-523.
3. Сулейманова Л.А., Крючков А.А., Хаттаб С.А.Р., Обайди А.А.Х., Поведение газобетонных перемычек из микрокремнезема различного соотношения при одно- и двухточечных нагрузках с поверхностным армированием // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 263-269.
4. Горынин, Г.Л., Моделирование изгиба оконной перемычки из композитных материалов // Сургутский государственный университет, - Том II - 2017. – С. 197-203.
5. Гринфельд Г.И., Вызовы к широкому применению автоклавного газобетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2018. – № 5-6(232-233). – С. 8-9.
6. Довженко А.В., Поздеев В.М. Перемычки из ячеистого бетона с вклеенной арматурой // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования – Том 2, - 2016. - С. 31-34.
7. Лободенко Е.А., Синянский И.А., Орлов Е.В. Исследование свойств ячеистобетонных перемычек, армированных композитной арматурой из армирующего волокна, для малоэтажных зданий // Системные технологии – №1 (30), - 2019, - С. 52-56.
8. Kamal M.A., Analysis of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks with Reference to its Potential and Sustainability // Journal of Building Materials and Structures. – 2020. – No. - 7. - P. 76-86.
9. Lei M., Liu Zh., Wang F. Review of lightweight cellular concrete: Towards low-carbon, high-performance and sustainable development // Construction and Building Materials. 2024. Vol. 429. p. 136324.
10. Bhosale A., Zade N. P., Davis R., Sarkar P. Experimental Investigation of Autoclaved Aerated Concrete Masonry // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2019. - Vol.31. - No. - 7.
11. Jingjing S. Autoclaved Aerated Concrete Block Prefabricated Multi-Storey Building Technology // Journal of World Architecture - 2022, - Volume 6, Issue 2, – P. 1-4.
12. Memari, Ali L., Andres S., An experimental study of autoclaved aerated concrete lintels strengthened with externally bonded glass FRP. // Journal of Reinforced Plastics and Composites – 2010 - №29 - P.3322-3337.
13. Муска Е.А., Федосов С.А. Выбор оптимальных способов описания диаграмм состояния бетона и арматуры при расчете по нелинейной деформационной модели // Строительство – формирование среды жизнедеятельности – 2016, - С. 358-362.
14. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К расчету прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением нелинейной деформационной модели // Известия Казанского Государственного Архитектурно-строительного Университета - №4 (26), -2013, - С. 113-120.
15. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство - №1, - 2013, - С. 28-30.
16. Дудина И.В., Маньщикова Н.С. Основные положения нелинейно-деформационной модели напряженно-деформированного состояния железобетонных балок со смешанным армированием // Системы. Методы. Технологии - №1, - 2009, - С. 90-94.
17. Карпенко Н.И., Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Акимов П.А., Карпенко С.Н., Петров А.Н. Обзор методов расчета железобетонных конструкций при сложных напряженных состояниях с учетом физической нелинейности, анизотропии и конструктивной неоднородности. Часть 1: Разработки отечественных ученых // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году. - 2020. - С. 255-265.
18. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция - №2 (40), - 2012, - С. 11-19.
19. Городецкий А.С., Лазарев А.А. ЭСПРИ – Электронный справочник инженера // Новые компьютерные технологии – Том 9, - №1 (9), - 2011, С. 63-65.
20. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.И. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.

References

1. Shevchenko A.V., Pobozhiy A.N. Calculation of the strength of insulated precast-monolithic lintels made of U-blocks // Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, - 2015. - Pp. 2428-2429.
2. Belov A.V., Zakharova Ya.Yu., Smirnova N.D. Assessment of the bearing capacity of reinforced lintels made of aerated concrete blocks based on the results of full-scale tests // Engineering Bulletin of the Don. - 2025. - No. 9 (129). - Pp. 515-523.
3. Suleimanova, L.A., Kryuchkov, A.A., Khattab, S.A.R., and Obaidi, A.A.Kh., Behavior of Aerated Concrete Lintels Made of Microsilica with Different Ratios under One- and Two-Point Loads with Surface Reinforcement // Innovations and Investments. – 2022. – No. 4. – Pp. 263-269.
4. Gorynin, G.L., Modeling the Bending of a Window Lintel Made of Composite Materials // Surgut State University, - Vol. II - 2017. – Pp. 197-203.
5. Grinfeld, G.I., Challenges for Widespread Use of Autoclaved Aerated Concrete // Construction Materials, Equipment, and Technologies of the 21st Century. – 2018. – No. 5-6(232-233). – P. 8-9.
6. Dovzhenko A.V., Pozdееv V.M. Lintels made of aerated concrete with glued-in reinforcement // Actual problems of modern science, technology and education – Vol. 2, - 2016, - P. 31-34.
7. Lobodenko E.A., Sinyansky I.A., Orlov E.V. Study of the properties of aerated concrete lintels reinforced with composite reinforcement made of reinforcing fiber for low-rise buildings // System technologies – No. 1 (30), - 2019, - P. 52-56.
8. Kamal M.A., Analysis of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks with Reference to its Potential and Sustainability // Journal of Building Materials and Structures. – 2020. – No. - 7. - P. 76-86.

9. Lei M., Liu Zh., Wang F. Review of lightweight cellular concrete: Towards low-carbon, high-performance and sustainable development // Construction and Building Materials. 2024. Vol. 429. p. 136324.
10. Bhosale A., Zade N. P., Davis R., Sarkar P. Experimental Investigation of Autoclaved Aerated Concrete Masonry // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2019. - Vol.31. - No. - 7.
11. Jingjing S. Autoclaved Aerated Concrete Block Prefabricated Multi-Storey Building Technology // Journal of World Architecture - 2022, - Volume 6, Issue 2, - P. 1-4.
12. Memari, Ali L., Andres S., An experimental study of autoclaved aerated concrete lintels strengthened with externally bonded glass FRP. // Journal of Reinforced Plastics and Composites – 2010 - No. 29 - P. 3322-3337.
13. Muska E.A., Fedosov S.A. Selection of optimal methods for describing the state diagrams of concrete and reinforcement in calculations using a nonlinear deformation model // Construction – formation of the living environment – 2016, - P. 358-362.
14. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. On the calculation of strength, stiffness and crack resistance of eccentrically compressed reinforced concrete elements using a nonlinear deformation model // Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering - No. 4 (26), -2013, - P. 113-120.
15. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. Analysis and improvement of curvilinear concrete deformation diagrams for calculating reinforced concrete structures using a deformation model // Industrial and civil engineering - No. 1, - 2013, - P. 28-30.
16. Dudina I.V., Manshchikova N.S. Basic provisions of the nonlinear deformation diagram of the stress-strain state of reinforced concrete beams with mixed reinforcement // Systems. Methods. Technologies - No. 1, - 2009, - P. 90-94.
17. Karpenko N.I., Belostotsky A.M., Pavlov A.S., Akimov P.A., Karpenko S.N., Petrov A.N. Review of methods for calculating reinforced concrete structures under complex stress states taking into account physical nonlinearity, anisotropy and structural heterogeneity. Part 1: Developments of domestic scientists // Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019. - 2020. - P. 255-265.
18. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. On Deformation Deformations of Bending Reinforced Concrete Elements Using Concrete and Reinforcement Stress-Strain Diagrams // Construction and Reconstruction - No. 2 (40), - 2012, - Pp. 11-19.
19. Gorodetsky A.S., Lazarev A.A. ESPRI – Electronic Engineer's Handbook // New Computer Technologies - Vol. 9, - No. 1 (9), - 2011, Pp. 63-65.
20. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.I. Deformation Models of Reinforced Concrete under Special Impacts // Industrial and Civil Engineering. 2018. No. 8. Pp. 54-60.

© П. А. Кореньков, В. В. Герман

Ссылка для цитирования:

Кореньков П. А., Герман В. В. Силовое сопротивление и деформирование перемычечных балок с несъемной опалубкой из ячеистого бетона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 93–101.