



Research Article

Received: February 01, 2023

Accepted: February 10, 2023

Published: February 10, 2023

ISSN 2304-6295

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels

Rybakov, Vladimir Alexandrovich^{1*} 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation; fishermanoff@mail.ru

Correspondence:* email fishermanoff@mail.ru; contact phone [+79118297767](tel:+79118297767)

Keywords:

Lightweight steel concrete structures (LSCS), Wall panels, Load-bearing capacity, Profile steel, Condition load effect factor; Foam Concrete

Abstract:

The goal of the work is to study the nature of the behaviour and determine the bearing capacity (determination of the coefficient of working conditions) of fragments of wall structures made of heat-insulating non-autoclaved monolithic foam concrete with a density of 200 kg/m³, profiled steel and fiber-cement sheets. The **object** of research is lightweight steel concrete structures (LGSS). The **subject** of research is the bearing capacity of LSCS under the action of a vertical distributed load, applied to the "bearing" part of the wall panel. The research **method** of the condition load effect factor of LSCS is based on experimental testing LSCS for one sample; carrying out a verification calculation according to the method chosen in such a way that the results of the experiment correlate with the numerical or analytical result; further carrying out a numerical experiment for a model that is completely identical to the tested LSCS sample, but without foam concrete filling (i.e. LGSS). **Results.** It was shown that when comparing the experimentally obtained data on the loading capacity of the LSCS wall panel and numerical calculations of the stress-strain state of the corresponding LGSS wall panel, the displacements of the LGSS are up to 2 times greater than the displacements of the LSCS, and the stresses differ from 2 to 13 times. It is proposed when using a numerically experimental method for determining the condition load effect factor of profiled steel in LSCS to perform engineering calculations of LSC-wall panels using foam concrete with density 200 kg/m³, by analogy with the calculation of light steel-concrete slabs, it is advisable to take a factor 1.25 or carry out a full series tests.

1 Introduction/Введение

Легкие сталебетонные конструкции (ЛСБК) [1] - это вид композитных сталебетонных конструкций, в которых в качестве заполняющего бетона выступает легкий монолитный (заливочный) пенобетон марки по плотности D100...D1000; в качестве профильной стали, как правило, выступают легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), а функцию несъемной опалубки выполняют фиброцементные панели. Аналогичные конструкции с использованием прокатных профилей («черный» металл) также могут быть классифицированы как ЛСБК

Расчетные усилия от всех нагрузок воспринимаются в большей степени профильной сталью и в меньшей – пенобетоном.

При этом основная задача пенобетона – вовсе не участие в работе несущей конструкции, а теплоизоляционная

Е.Ю.Чакин, обозревая основные виды утеплителей в строительстве [2], резюмирует: «Идеального утеплителя не существует», с чем автор данной статьи позволит себе не согласиться: пенобетон является не только теплоизоляционным материалом [3] с высоким коэффициентом теплопроводности 0,07 Вт/(м·К), но и огнестойким [4] и негорючим [5] материалом, при этом обладающим высокой степенью адгезии с профильной сталью включается

Rybakov, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels;

2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **106** Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2



в совместную работу конструкции [1] и за счет создаваемой им высокощелочной среды образующим оксидную пленку, защищающую профильную сталь от коррозии. Соответствующие исследования проводились научной группой под руководством автора данной статьи и, как правило, не отмечаются как достоинства в известных обзорах ([2],[6],[7] и др).

Сами по себе ЛСТК широко используются как на российском рынке, так и за рубежом [8]. В настоящее время большое внимание уделяется вопросу энергоэффективности, а также обеспечению огнестойкости и сохранности конструкций от пожара. В статье [9] показано, что наиболее эффективными, с точки зрения энергосбережения, являются здания, построенные по каркасной технологии ЛСТК.

В малоэтажном и модульном строительстве вместо известных стен любого состава могут быть применены стены из ЛСТК, обшитые гипсокартоном [10], которые в России получили название «каркасно-обшивные стены» (КОС) с введением в действие ГОСТ Р 58774-2019 «Стены наружные каркасно-обшивные самонесущие и несущие с каркасом из стальных холодногнутых оцинкованных профилей» [11]. Но наиболее эффективной является комбинация ЛСТК с пенобетоном [12], которая может применяться как в качестве ограждающих стен, так и в качестве конструкции пола [13]. Работа этой технологии, результаты исследования физико-механических свойств и работы стальных элементов более подробно описаны в [14],[15].

Статьи [16]–[20] описывают опыт использования композитных материалов, в т.ч. пенобетона при устройстве полов и стен и показывают возможные способы усиления конструкций для достижения достаточной прочности [21].

Для того чтобы строительная конструкция была долговечной, необходимо соблюдать температурный и влажностный режимы [22], особенно это касается ячеистых бетонов, к которым относится пенобетон. В статьях [23],[24] последствия нарушения указанного режима описаны на примере другого ячеистого бетона - газобетона.

Влияние потери температуры в линейных элементах ограждающих конструкций представлено в статье [25]. В [26] рассмотрена совместная работа ЛСТК и полистиролбетона в качестве утеплителя; показано, что эта комбинация материалов способна минимизировать теплопотери ограждающей конструкции здания.

В соответствии с п. 9.2. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [27], допускается коэффициент условий работы материалов, конструкций и оснований устанавливать на основе экспериментальных данных.

С другой стороны, в имеющихся действующих на территории Российской Федерации нормативных документах, таких, как СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [28] и СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов» [29] не содержится информации о реальных значениях коэффициента условий работы профильных стальных элементов, заполненных каким-либо материалом, в т.ч. монолитным пенобетоном.

Требования СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные правила проектирования» [30] не распространяются на проектирование и расчет конструкций, содержащих легкие бетоны плотностью менее 500кг/м³.

В зарубежных нормах (Eurocode-3. Design of steel structure [31] и др.) также не содержится значений коэффициентов условий работы ЛСТК с монолитным заполнением.

Таким образом, единственным способом рассчитывать (ЛСБК) является рассмотрение их как стальных (либо стальных тонкостенных – в зависимости от профильной стали, входящей в состав ЛСБК) с принятием значения коэффициента условий работы γ_c , равного 1,0 – т.е. в предположении неучастия в работе легкогобетонного заполнения вообще

Поэтому **целью** данной статьи является изучение характера работы и оценка несущей способности (определение коэффициента условий работы) фрагментов стеновых конструкций из теплоизоляционного неавтоклавного монолитного пенофибробетона объемной плотностью 200кг/м³, профильной стали с обшивкой фиброцементными листами «Стеклоцем»

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Исследовать работу стеновой панели без окна на внецентренное сжатие
2. Исследовать работу стеновой панели с окном на внецентренное сжатие
3. Провести анализ результатов и выявление фактического коэффициента условий работы легких сталебетонных перекрытий.

Объектом исследования являются легкие сталебетонные стеновые панели

Rybakov, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels;

2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **106** Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2

Предметом исследования является их несущая способность под действием вертикальной распределенной по верхнему торцу нагрузки, приложенной к «несущей» составляющей стеновой панели

2 Materials and Methods/ Материалы и методы

Ранее в статье [32] мы уже рассмотрели процесс и результат определения коэффициента условий работы на примере панелей перекрытия; 2 серии испытаний показали, что при расчете перекрытий на основе ЛСБК коэффициент условий работы может быть принят 1,25.

Однако при реальном проектировании ЛСБК проведение полноценных экспериментов, в которых предусмотрено экспериментальное сравнение двух конструкций в количестве, обеспечивающем требуемую достоверность, является технически и экономически сложной задачей.

Поэтому на примере стеновых панелей из ЛСБК рассмотрим упрощенный способ оценки коэффициента условий работы, заключающийся в следующем:

- 1) проведение испытаний ЛСБК для одного образца;
- 2) проведение поверочного расчета ЛСБК по методике, выбранной таким образом, чтобы результаты эксперимента коррелировали с численным или аналитическим результатом – с целью обоснования достоверности эксперимента;
- 3) проведение численного эксперимента для модели, полностью идентичной испытанному образцу ЛСБК, но без пенобетонного заполнения;
- 4) выявление значения коэффициента условий работы или его оценка и сопоставление с другими известными аналогичными экспериментами.

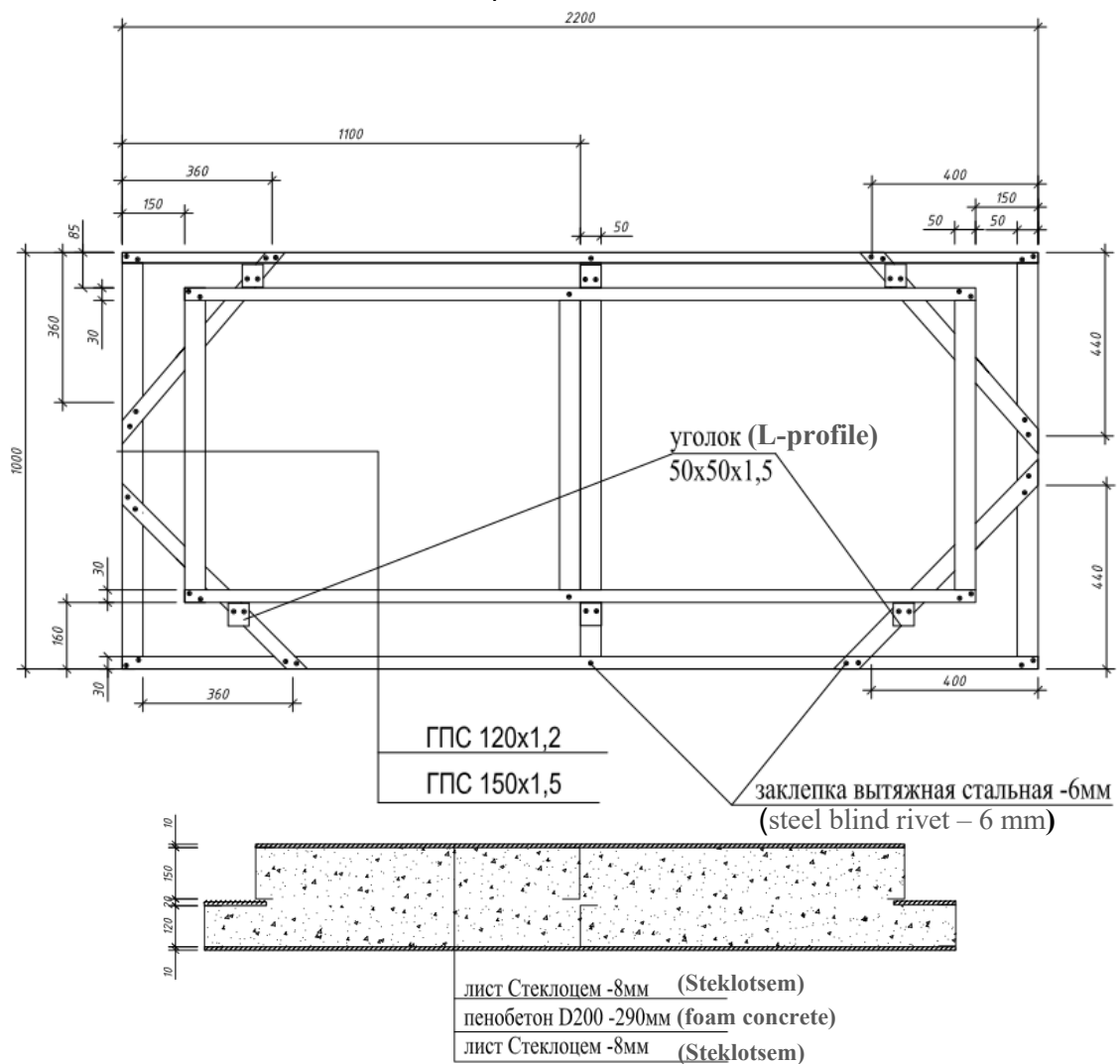


Рис. 1 – Конструкция стеновой панели без проема
Fig. 1 – Wall panel construction without opening

Rybakov, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels;

2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **106** Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2

Исследовано 2 образца.

1) Стеновая панель без окна (образец №1с)

Схема образца №1с представлена на рис.1. Вид испытанной конструкции без окна приведен на рис.2.



Рис. 2 – Стеновая ограждающая панель перед испытанием на прочность
Fig. 2 – Wall enclosure panel before strength test

2) Стеновая панель с окном (образец №2с)

Схема образца №2с представлена на рис.3. Вид панели перед испытанием показан на рис.4.

Нагружение происходило с шагом 200 кгс. Прогибомеры нумеровались слева направо.

Нагружение – с помощью 3 домкратов (рис. 1,4), которые сверху крепятся к жесткой металлической общей продольной траверсе, закрепленной к силовому полу с помощью двух стоек. Снизу домкраты упираются через дополнительную траверсу к металлическим элементам, передающим нагрузку на разрезной двутавр, позволяющий нагрузке «следить» за перемещениями панели. Все домкраты подсоединены к одному источнику, в котором задается внешняя нагрузка и поддерживается ее постоянное значение во всех трех домкратах.

Для определения перемещения отдельных точек конструкции были установлены прогибомеры в количестве 3 шт. на каждый образец.

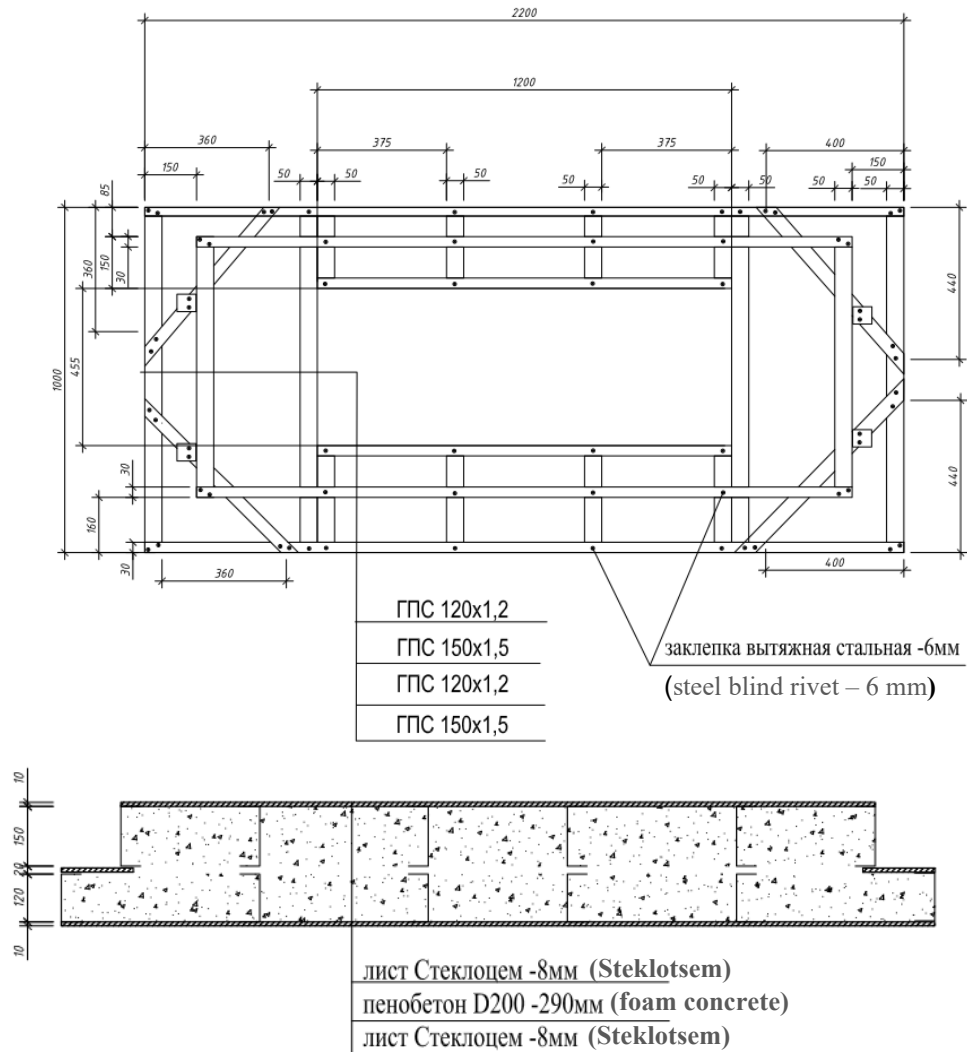


Рис. 3 – Конструкция стеновой панели с проемом
Fig. 3 – Wall panel construction with the opening



Рис. 4 – Стеновая ограждающая панель с оконным проемом перед испытанием
Fig. 4 – Wall enclosure panel with the window opening before strength test

3 Results/Результаты

Значения результатов испытаний по образцу 1с приведены в табл.1 и проиллюстрированы на рис. 5.

Таблица 1. Результаты испытания прочности стеновой панели
Table 1. Wall panel strength test results

Нагрузка, кгс	Показания прогибомеров, мм*10 ⁻²			Перемещения, мм			Среднее значение перемещения,мм
	1	2	3	1	2	3	
0	1927	8163	7654	0	0	0	0
250	1849	8163	7604	0,78	0	0,5	0,64
500	1767	8163	7615	1,6	0	0,39	0,995
750	1701	8163	7623	2,26	0	0,31	1,285
1000	1661	8163	7633	2,66	0	0,21	1,435
1250	1624	8162	7641	3,03	0,01	0,13	1,585
1500	1588	8161	7649	3,39	0,02	0,05	1,73
1750	1558	8161	7652	3,69	0,02	0,02	1,865
2000	1531	8161	7653	3,96	0,02	0,01	1,995
2250	1509	8162	7653	4,18	0,01	0,01	2,1
2500	1488	8156	7654	4,39	0,07	0	2,23
2750	1470	8160	7656	4,57	0,03	-0,02	2,29
3000	1458	8154	7647	4,69	0,09	0,07	2,425
3250	1445	8154	7645	4,82	0,09	0,09	2,5
3500	1425	8155	7647	5,02	0,08	0,07	2,585
3750	1420	8155	7651	5,07	0,08	0,03	2,59
4000	1415	8155	7655	5,12	0,08	-0,01	2,595
4250	1415	8156	7630	5,12	0,07	0,24	2,715
4500	1580	8154	7631	3,47	0,09	0,23	1,895
4750	1592	8156	7630	3,35	0,07	0,24	1,83

Из графика (рис. 5) видно, что до определенной нагрузки (в данной задаче 750 кгс/домкрат или 1023кгс/м) конструкция имеет преимущественно упругий характер деформирования, что составляет около 1/3 диапазона нагружения. Можно высказать предположение, что именно этот диапазон соответствует несущей способности только профильной стали, после которого конструкция была бы неработоспособной без пенобетонного заполнения. На последующих 2/3 диапазона нагружения наблюдается пластический характер

Во второй части нагружения наблюдается пластический характер работы конструкции, вызванный спецификой нелинейного деформирования пенобетона. Важным является факт, что деформации пенобетона (рис. 5), насколько большими и критическими бы они ни были (с точки зрения работы бетонных конструкций), они не являются критерием потери прочности конструкции, в целом, т.к. «разрушенный» пенобетон находясь в замкнутом пространстве, ограниченном профильной сталью и фиброцементными листами обшивки, продолжает даже в запредельно деформированном состоянии выполнять функцию заполняющего и теплоизоляционного материала. Данное обстоятельство обеспечено тем, что даже в таком закритическом для пенобетона состоянии не теряется ни адгезия профильной стали с пенобетоном (выявлено при вскрытии), ни внутреннее сцепление волокон пенобетона друг с другом

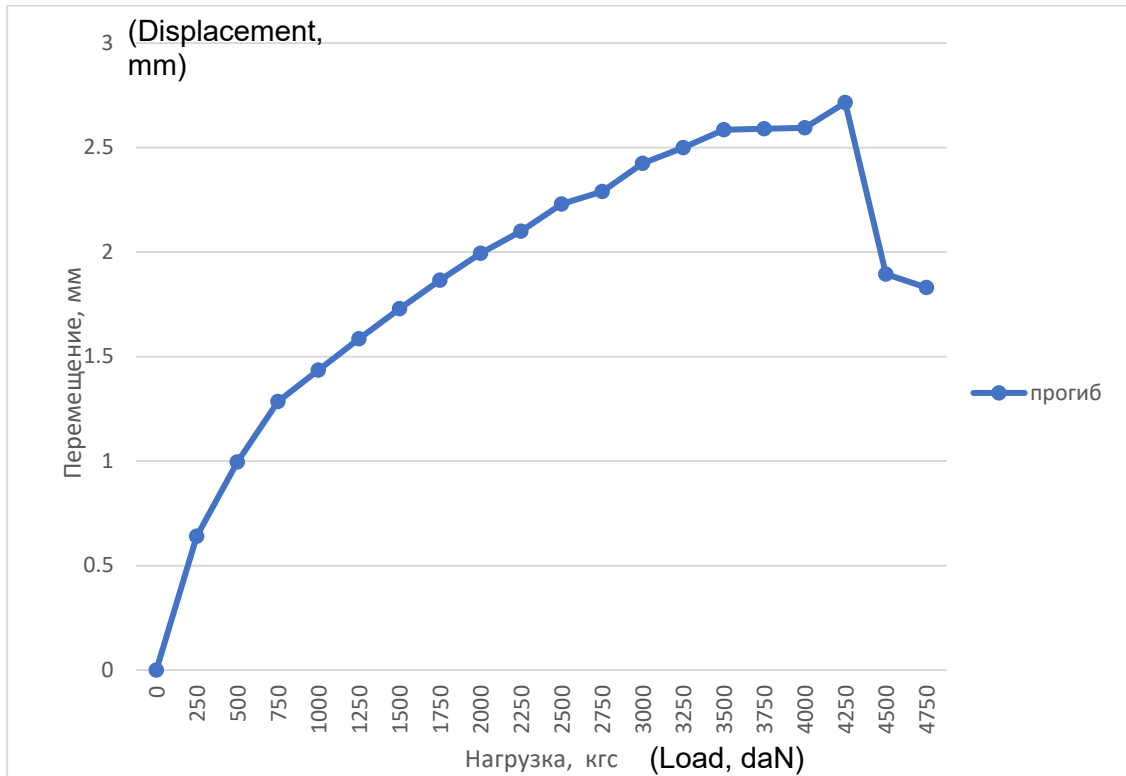


Рис. 5 – Диаграмма нагружения образца №1с
Fig. 5 – Sample loading diagram No. 1c

Конструкция в момент потери несущей способности видна на рис. 6(а). Характер деформаций в пенобетоне и стали после вскрытия панели показан на рис. 6(б)



(а)



(б)

Рис. 6 – Внешний вид конструкции после потери несущей способности: (а) - до вскрытия облицовки; (б) – деформации в пенобетоне.

Fig. 6 – External view of the wall panel after the loss of bearing capacity: (а) - before opening the facing; (б) - deformations in foam concrete.

Значения результатов испытаний по образцу 2с приведены в табл. 2 и проиллюстрированы на рис. 7.

Таблица 2. Результаты испытания стеновой панели с оконным проемом
Table 2. Test results of the wall panel with a window opening

Нагрузка, кгс	Показания прогибомеров, мм*10 ⁻²			Перемещения, мм			Прогиб в середине оконной перемычки, мм
	1	2	3	1	2	3	
0	5 487	1 939	6 768	0	0	0	0
250	5 638	2 026	6 793	1,51	0,87	0,25	0,24
500	5 748	2 284	6 792	2,61	3,45	0,24	2,265
750	5 840	2 403	6 707	3,53	4,64	0,61	2,57
1000	5 962	2 671	6 560	4,75	7,32	2,08	3,905
1200	5 982	2 912	6 437	4,95	9,73	3,31	5,6
1400	6 080	3 065	6 420	5,93	11,26	3,48	6,555
1600	6 145	3 170	6 400	6,58	12,31	3,68	7,18
1800	6 230	3 315	6 393	7,43	13,76	3,75	8,17
2000	6 383	3 500	6 353	8,96	15,61	4,15	9,055
2200	6 382	3 715	6 310	8,95	17,76	4,58	10,995
2400	6 430	3 930	6 297	9,43	19,91	4,71	12,84
2600	6 440	4 440	62 40	9,53	25,01	5,28	17,605
2800	6 500	4 775	6 200	10,13	28,36	5,68	20,455
3000	6 770	5 800	6 020	12,83	38,61	7,48	28,455
3200	6 850	6 200	5 965	13,63	42,61	8,03	31,78
3400	7 000	6 650	5 940	15,13	47,11	8,28	35,405
3500	7 120	6 950	5 865	16,33	50,11	9,03	37,43

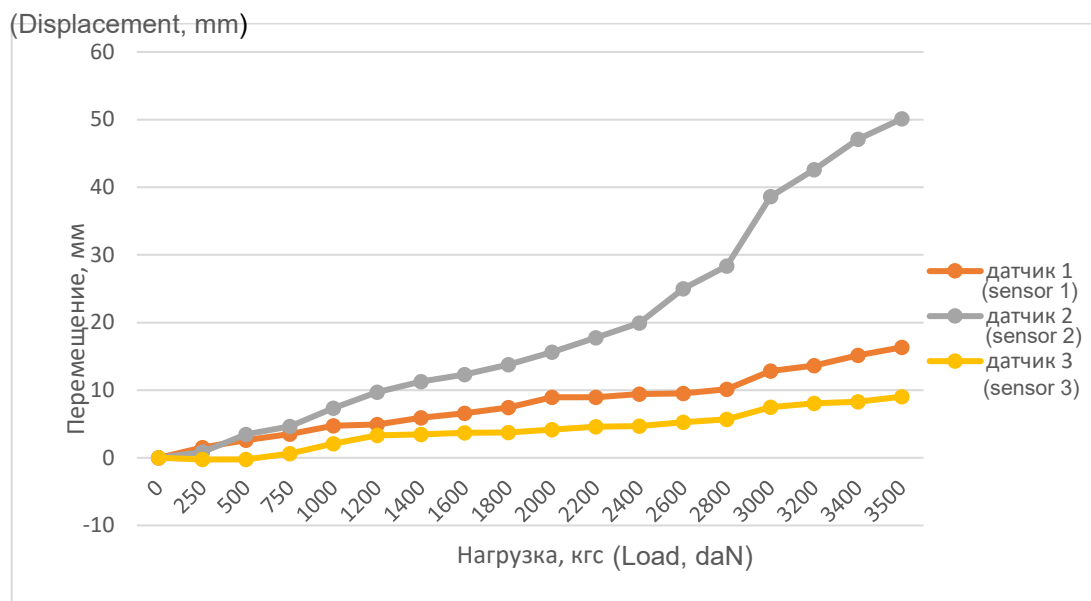


Рис. 7 – Диаграмма нагружения образца №2с
Fig. 7 – Sample loading diagram No. 2с

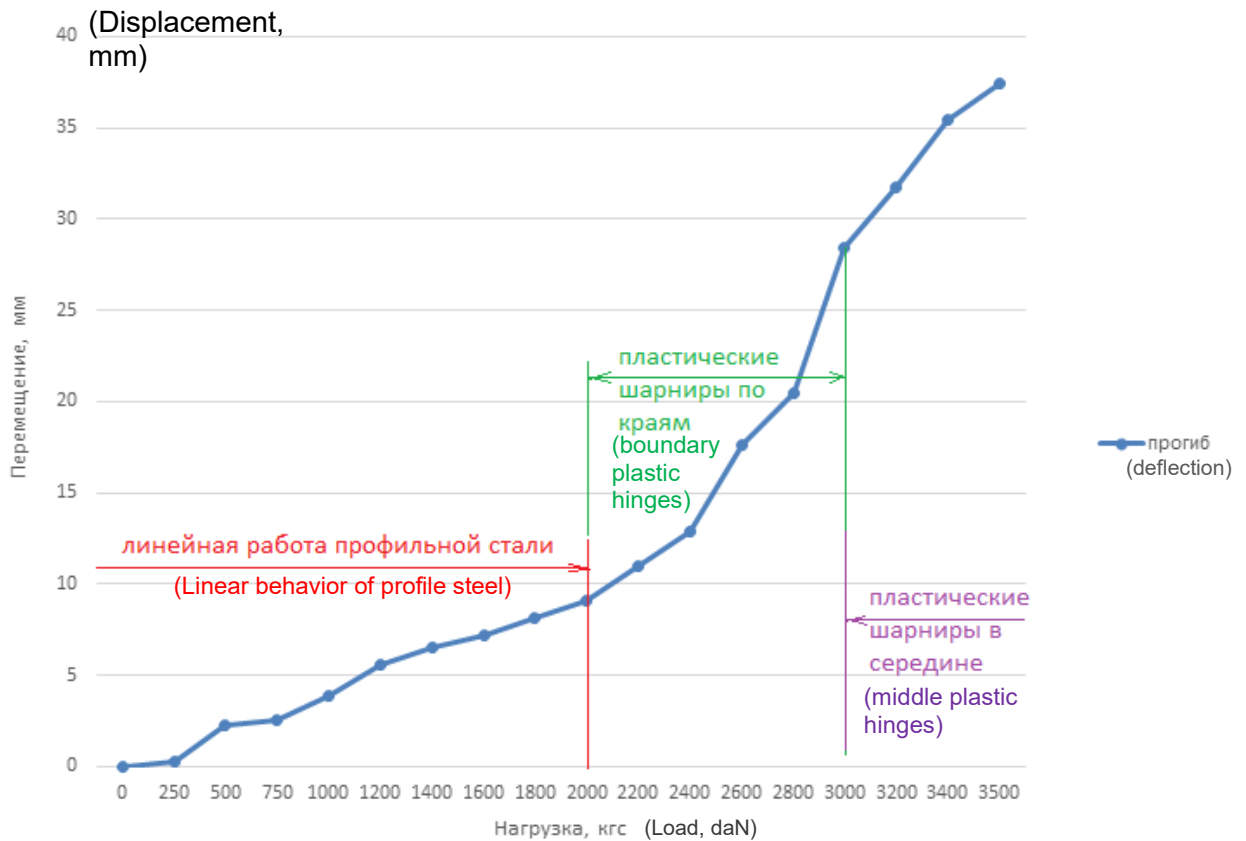


Рис. 8 – График прогибов в середине оконной перемычки (образец №2с)
 Fig. 8 – Diagram of deflections in the middle of the window lintel (sample No. 2c)

Как видно из рис. 8, с начала испытаний конструкция показывала преимущественно упругий характер работы: практически упругий до нагружения нагрузкой в 2,0тс; далее наблюдалось образование «пластических шарниров» на краях перемычки и до 2,6...2,8тс пластический характер работы с заметным ростом деформаций и снижением среднего модуля деформации. После достижения данной нагрузки пластические деформации наблюдаются и в центре перемычки, образуется еще один пластический шарнир, происходит снижение среднего модуля деформации конструкции и при 3,0-3,5 тс происходит очевидная потеря несущей способности. Максимальный прогиб при разрушающей нагрузке составил 5,7 см. Дальнейшее нагружение не представлялось возможным ввиду невозможности поддержания постоянного или растущего усилия в домкратах и резком увеличении перемещений.



Рис. 9 – Образец в момент потери несущей способности
 Fig. 9 – Sample at the moment of the bearing capacity loss

Также из рис. 9 видно, что при нагрузке 1,6...1,8тс наблюдается превышение прогиба допустимого значения по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [33] (в расчете принято

$L/200=6\text{мм}$), после которого могут возникнуть проблемы при эксплуатации соответствующих окон, если не приняты дополнительные компенсационные мероприятия

Общие выводы по двум экспериментам:

1. Исследования показали, что предельная нагрузка на стеновые панели колеблется в лабораторных условиях от 1,8тс до 3,5тс на домкрат, в зависимости от критерия допустимости, что соответствует несущей способности не менее 2,5...4,8 тс/м.п.
2. Показано, что критерием разрушения конструкции является критерий разрушения профильной стали или фиброцементных листов обшивки. При возникновении в пенобетонном заполнении предельных деформаций данное обстоятельство не влияет на прочность и несущую способность стеновой панели, в целом.
3. Работоспособность панелей теряется при обстоятельствах, связанных с выходом из строя второстепенных с точки зрения несущей способности элементов панелей: отслоение самонесущей (навесной) части от «несущей», отслоение облицовочных панелей «Стеклоцем», по ТУ 5742-008-53743439-12 «Листы стекломгнезитовые огнестойкие «СТЕКЛОЦЕМ» от общей конструкции панели, излом облицовочной панели «Стеклоцем», выход из строя крепления внутренних частей панели и т.д. Окончательное же разрушение панелей происходит по профильной стали, но при этом ни о какой работоспособности речи быть не может
4. В целом, эксперимент показал, что пенобетон, несмотря на его низкие прочностные качества, оказывает положительное влияние на работу панелей

4 Discussion/Обсуждение

Стеновая панель с окном (образец №2с)

Как видно из эксперимента, зоной потери несущей способности фрагмента стены с окном является перемычка. Для обоснования достоверности эксперимента замоделируем ее в программном комплексе SCAD Office [34],[35],[36] и др. , с помощью объемных 8-узловых изопараметрических конечных элементов типа 36 (пенобетон) и 4-угольных конечных элементов оболочки типа 44 (профильная сталь) – рис.10. Граничные условия – отсутствие перемещений и углов поворота в вертикальных плоскостях приопорных зон.

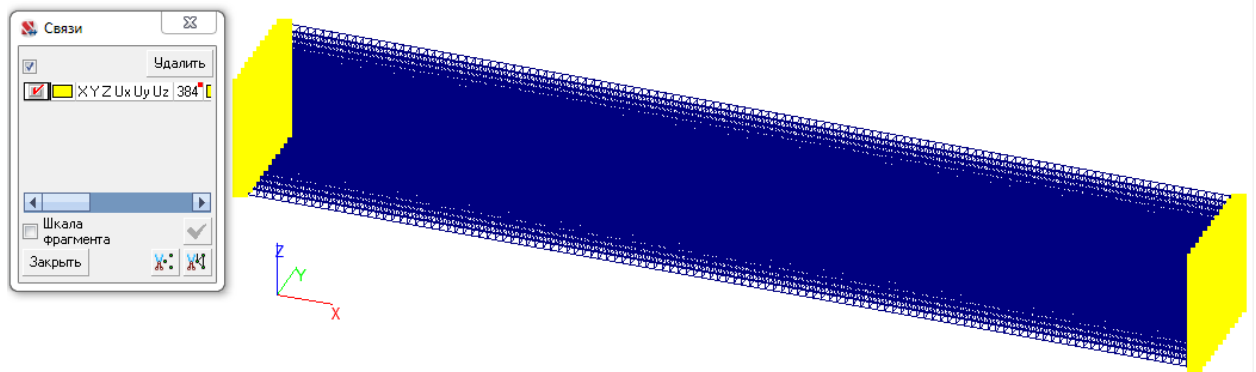


Рис. 10 – Расчетная модель перемычки с граничными условиями
Fig. 10 – Design model of the lintel with boundary conditions

Физические характеристики модели:

- модуль деформации профильной стали: $E_s=2,06 \cdot 10^5$ МПа;

- коэффициент Пуассона профильной стали, по СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»

[28]: $\nu_s= 0,3$;

- предел текучести стали ХП 08 ПС по ГОСТ 14918-80 «Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия» [37], АО «Северсталь Дистрибуция»: $R_y=220$ МПа

- временное сопротивление стали: $R_u=300$ МПа

- модуль деформации пенобетона марки D200, по СТО 06041112.002—2018 (с изм. 1,2).

Сталебетонные конструкции из теплоизоляционного неавтоклавного монолитного пенобетона, профильной стали с облицовкой фиброцементными листами. Правила проектирования: 290 МПа.

Коэффициент Пуассона пенобетона принят $\nu_b= 0,14419$ по исследованиям М.А.Попова [38] и $\nu_b= 0,2$ по известным нормативным документам и пособиям: СП 63.13330.2018 «Бетонные и Рыбаков, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels;

2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **106** Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2

железобетонные конструкции» [39] и Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов (к СНиП 2.03.01-84) .

Данная расчетная модель принята геометрически линейной, в упругой стадии работы; загрузка для удобства обработки результатов – единичное ($P=1\text{тс}$ в домкрате)

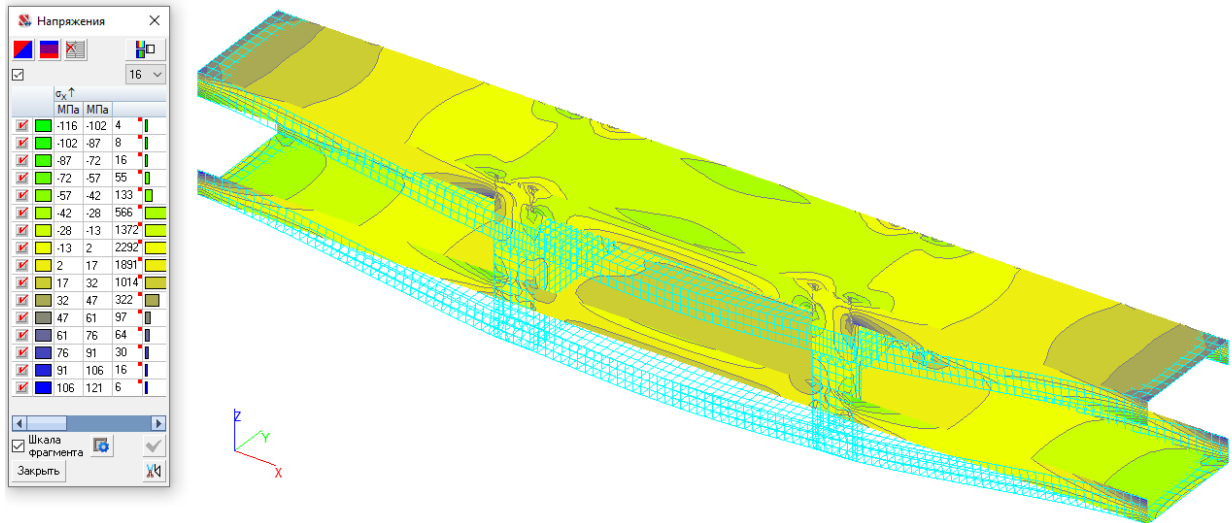


Рис. 11 – Нормальные напряжения ($\nu=0,144$)

Fig. 11 – Normal stresses ($\nu=0.144$)

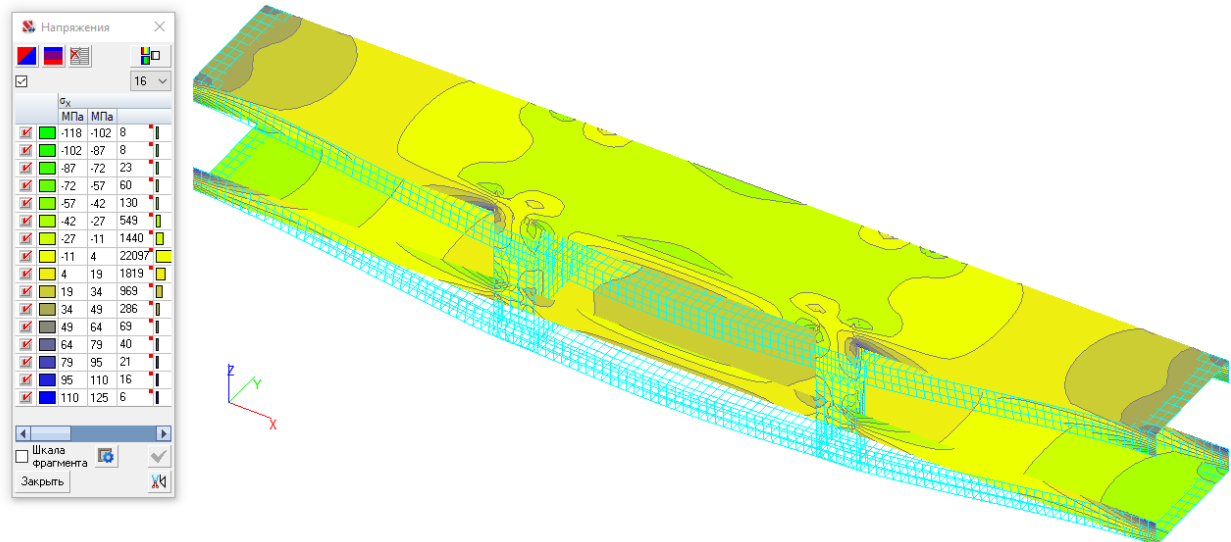


Рис. 12 – Нормальные напряжения ($\nu=0,2$)

Fig. 12 – Normal stresses ($\nu=0.2$)

В обоих случаях максимальные положительные и отрицательные нормальные напряжения (рис. 11-12) наблюдаются в полках направляющих верхнего и нижнего профилей в зонах опирания (примыкания к стойкам стеновой панели), что соответствует экспериментальным результатам. При этом результатом, более близким к экспериментальному показала модель с коэффициентом Пуассона 0,144, принятым по [38]. Напряжения в данном сечении будут соответствовать пределу текучести стали при нагрузке в домкрате 1,82тс, что неплохо соответствует графику на рис. 8, на котором упругая работа происходит до нагрузки в 2тс. Разница в значениях обусловлена наличием фиброцементных листов обшивки.

Также опасные растягивающие напряжения возникают в центральной части перемычки в зоне стыка вертикальных и горизонтальных профилей (рис. 13).

Также опасные растягивающие напряжения возникают в центральной части перемычки в зоне стыка вертикальных и горизонтальных профилей (рис. 13).

Напряжения сжатия будут соответствовать пределу текучести при нагрузке в домкрате 3,0тс, что соответствует точке на графике на рисунке 6.21, при которой образуются пластические шарниры в пролете и о дальнейшей работе конструкции становится говорить бессмысленным с

Rybakov, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels;

2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **106** Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2

точки зрения критериев как несущей способности, так и эксплуатационной пригодности (перемещения более 30мм). Таким образом, можно сделать вывод, что в данном случае для оценки коэффициента условий работы профильной стали одного образца ЛСБК достаточно.

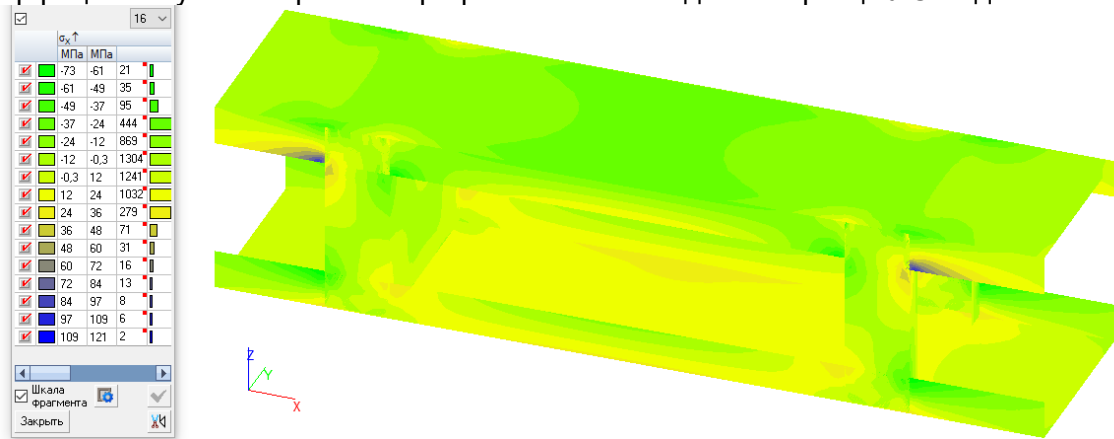


Рис. 13 – Нормальные напряжения в центральной части перемычки
Fig. 13 – Normal stresses in the central part of the lintel

Далее проведем численный эксперимент для аналогичной конструкции ЛСТК. Рассмотрим 2 расчетные модели – стержневую (рис. 14) и оболочечную (рис. 15). Зададим распределенные нагрузки, соответственно, 1,622тс/м.п. и 10,526тс/м² – эквивалентные единичной нагрузке 1тс в домкрате из предыдущей модели.

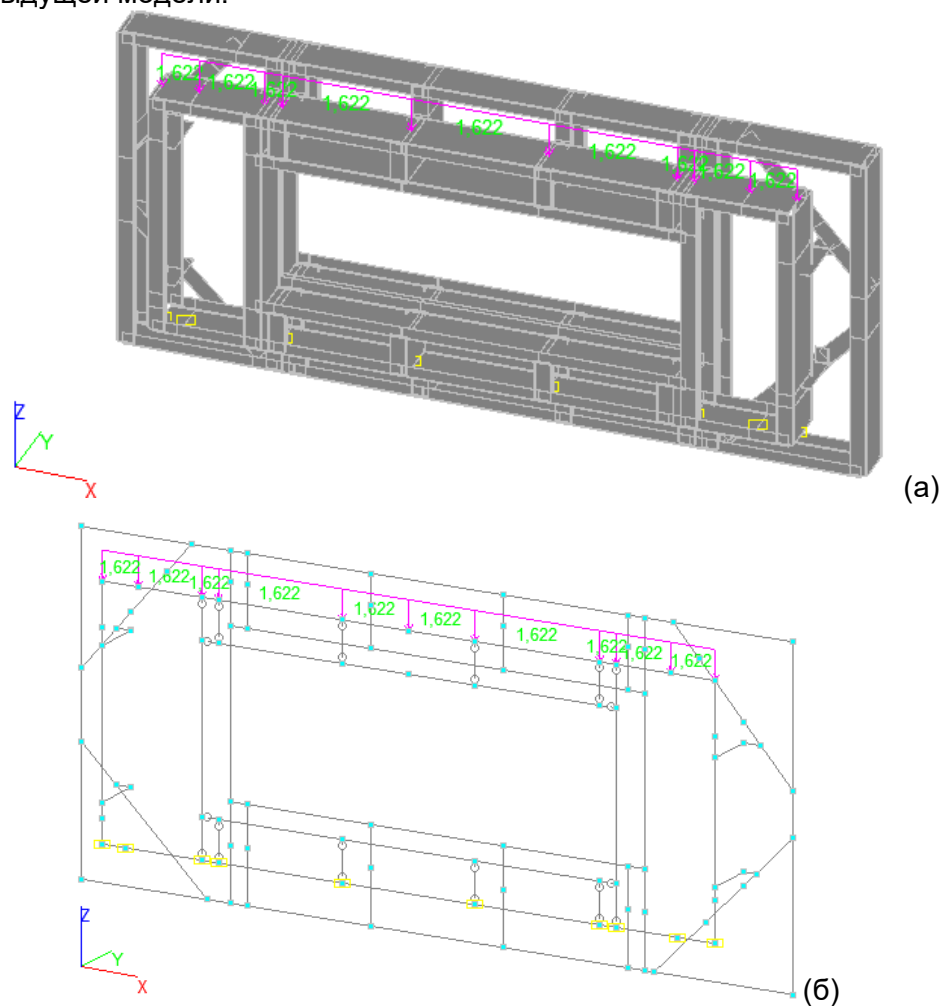


Рис. 14 – Стержневая расчетная схема: а – с визуализацией сечений; б – стержневая модель с шарнирами
Fig. 14 – Rod design scheme: a - with visualization of sections; b - rod model with hinges

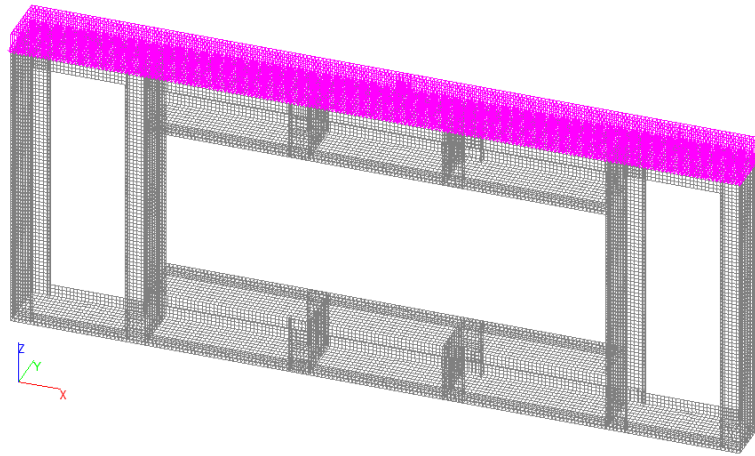


Рис. 15 – Оболочечная расчетная схема (22 036 узлов и 21 024 элементов)
 Fig. 15 – Shell design scheme (22,036 nodes and 21,024 elements)

На рис. 16 и 17 представлены вертикальные перемещения.

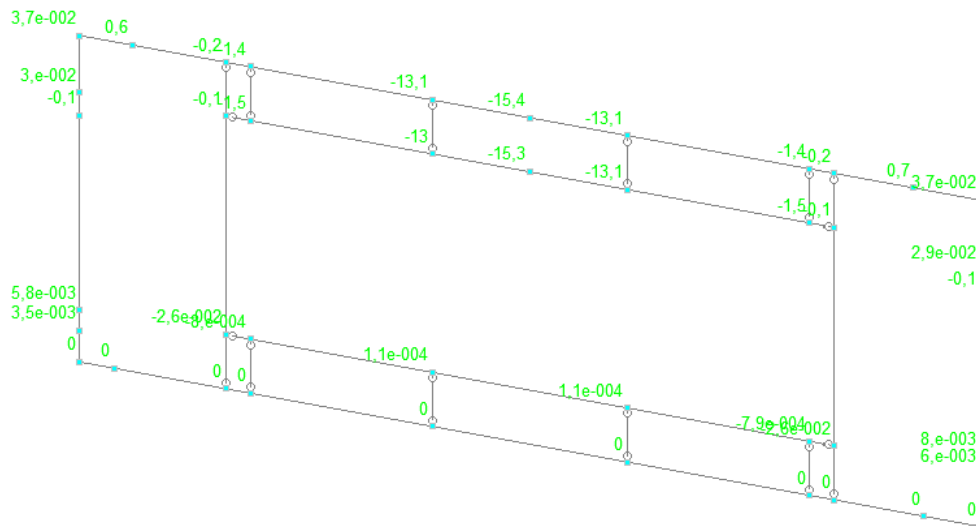


Рис. 16 – Вертикальные перемещения стержневой модели ЛСТК с окном
 Fig. 16 – Vertical displacements of the LGSS bar model with the window

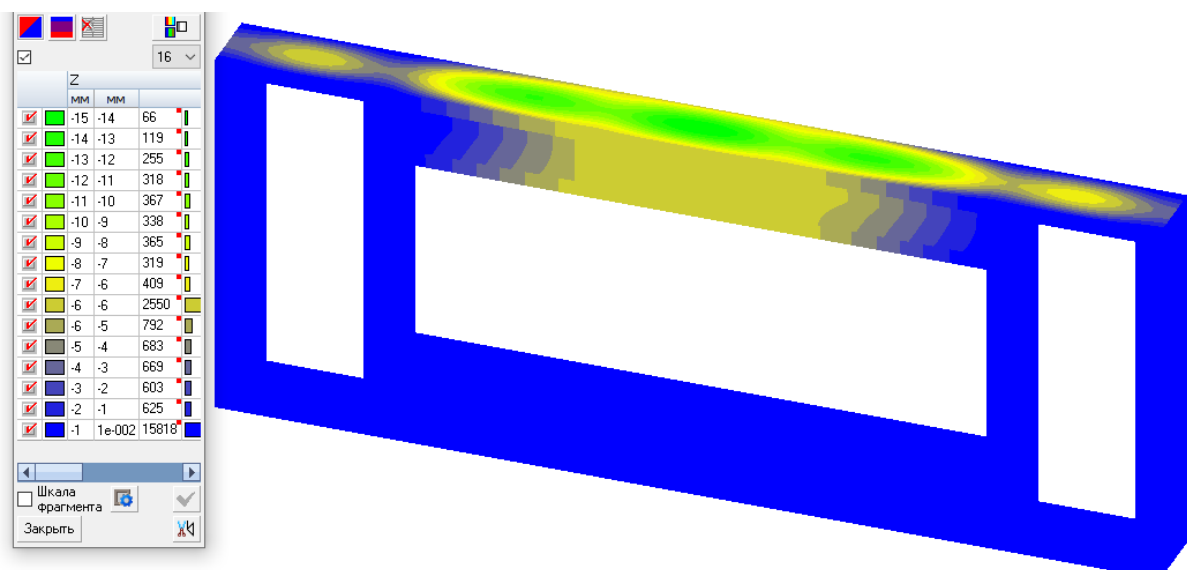


Рис. 17 – Вертикальные перемещения оболочечной модели ЛСТК с окном
 Fig. 17 – Vertical displacements of the LGSS shell model with the window

При сопоставлении результатов двух численных экспериментов на рис. 16-17 видно, что величина вертикальных перемещений «образца» ЛСТК 15,3мм является достоверной, и можно перейти к сопоставлению результатов испытаний ЛСБК с результатами расчета НДС ЛСТК. Максимальные значения напряжений «образца» ЛСТК представлены на рис. 18

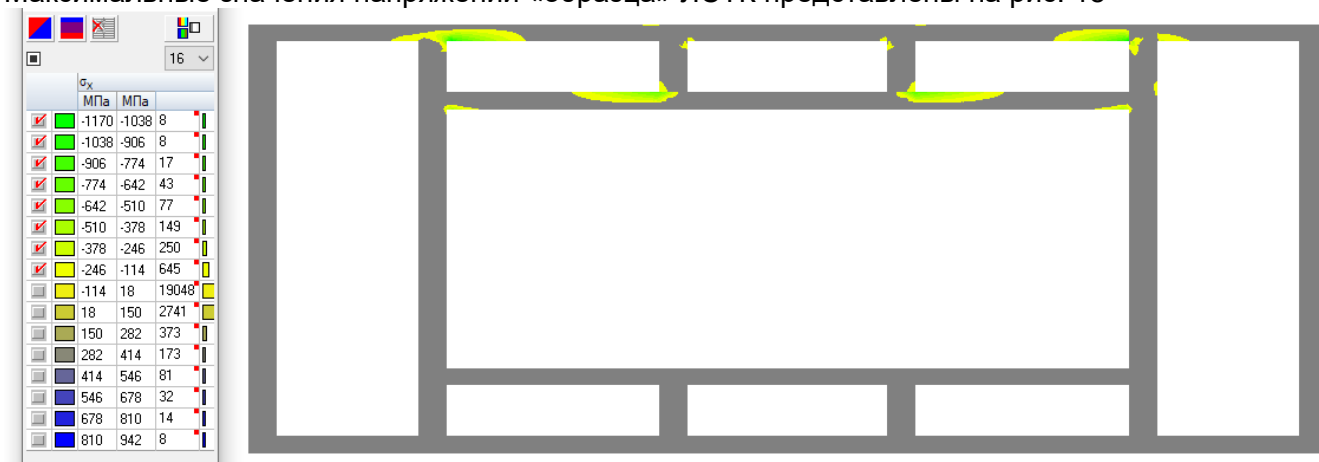


Рис. 18 – Нормальные напряжения в панели из ЛСТК с окном

Fig. 18 – Normal stresses in an LGSS panel with a window

Результаты на рисунках 7-8 и 16-18 систематизированы в табл.3.

Таблица 3. Общие результаты эксперимента со стеновой панелью с окном

Table 3. General results of the experiment with the wall window-panel

Параметр	$P=1\text{тс}$ (единичная)	$P=1,8\text{тс}$ (предельный прогиб 6мм по СП 20.13330, [33])	$P=2,0\text{тс}$ (предел текучести)	$P=3,5\text{тс}$ (предел прочности)	Примечание
По перемещениям					
$f_{\text{ЛСТК}}, \text{мм}$	15,4	27,7	30,8	(53,9)	
$f_{\text{ЛСБК}}, \text{мм}$	7,32	13,76	15,61	50,1	эксперимент
По напряжениям					
$\sigma_{\text{ЛСТК}}, \text{МПа}$	1170	2106	2808	(4095)	
$R_{\text{ЛСБК}}, \text{МПа}$	-	-	220	300	Значения не измерялись; представлены данные паспорта стали

Как видно из табл.3, значения несущей способности панелей с окном ЛСБК и ЛСТК отличаются по расчету в **12,76** раза по пределу текучести (отношение напряжения **2808 МПа** в панели ЛСТК к пределу текучести стали **220 МПа**, соответствующему окончанию линейной работы панели ЛСБК), и в **13,65** раза по пределу прочности (4 095 МПа к 300 МПа) –то есть на порядок.

При этом вертикальные перемещения в панелях ЛСТК и ЛСБК в момент окончания линейной работы отличаются в **1,97** раза.

Поскольку для данной задачи был использован только 1 экспериментальный образец, принципиально сопоставив результаты численного и натурного экспериментов, мы можем достоверно утверждать, что коэффициент условий работы профильной стали в стеновой ЛСБК с окном составляет не менее, чем $\gamma_c=1,25$.

Стеновая панель без окна (образец №1с)

Повторим ранее описанную процедуру применительно к стеновой панели без окна.

В качестве внешнего воздействия в расчетной модели панели ЛСТК принята равномерно распределенная нагрузка $q=11,364 \text{ тс/м}^2$, статически эквивалентная единичной нагрузке $P=1\text{тс}$ на домкрат.

В отличие от панели с окном, в данной конструкции нас не будут интересовать вертикальные перемещения, а только нормальные напряжения в профильной стали (рис. 19), которые будут являться основным критерием потери несущей способности.

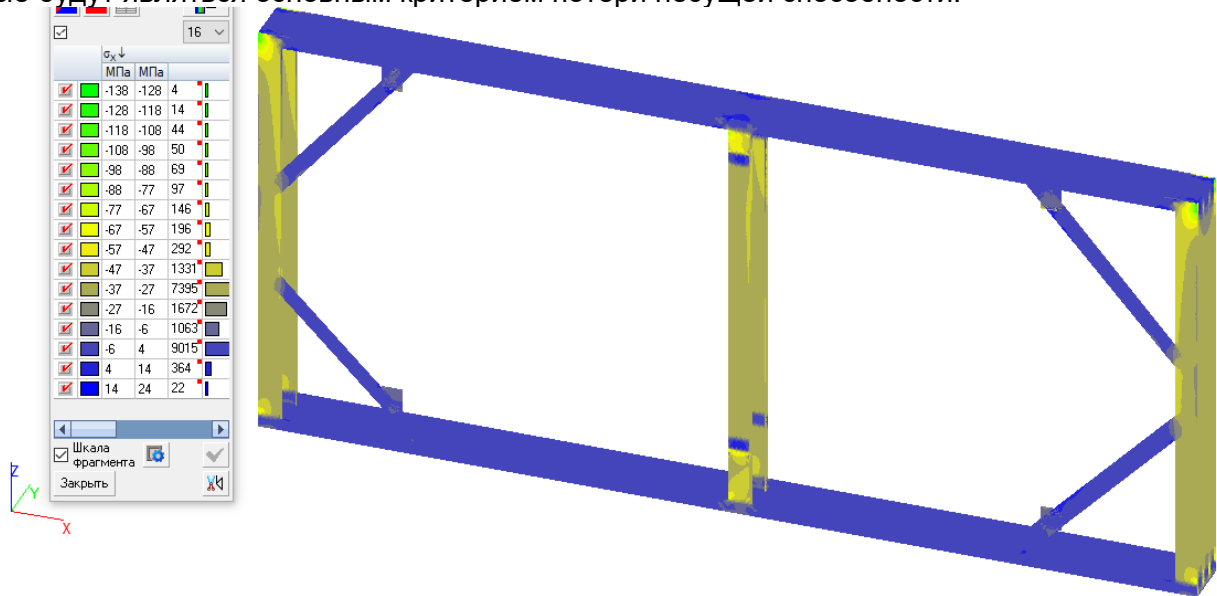


Рис. 19 – Нормальные напряжения в панели из ЛСТК без окна

Fig. 19 – Normal stresses in an LGSS panel without a window

Результаты, представленные на рис. 5 и 19, сведем в табл. 4.

Таблица 4. Общие результаты эксперимента со стеновой панелью без окна
Table 4. General results of the experiment with the wall panel without a window

Нагрузка	ЛСБК		ЛСТК (напряжения по расчету, МПа)
	Значение на 1 домкрат, тс (эксперимент)	(характер работы)	
единичная (тестовая)	1,0	Нелинейная работа	138
в конце упругой зоны работы профильной стали ЛСБК	0,75	Начало нелинейной работы	104
при пределе текучести стали 220 МПа	1,6	Нелинейная работа	220
при пределе прочности стали 300МПа	2,17	Нелинейная работа	(300)
Критическая при разрушении ЛСБК	3,5	разрушение	(483)

Из результатов в табл.4 можно сделать выводы, что стеновые панели ЛСБК работают нелинейно (рис. 5); при этом значение коэффициента условий работы ЛСБК для одного образца составляет не менее 2,12 по пределу текучести (отношение 220 МПа к 104 МПа) и 1,62 по пределу прочности (отношение 483 МПа к 300 МПа).

5 Conclusions/Заключение

Показано, что при сравнении экспериментально полученных данных загрузки способности ЛСБ-панели и численных расчетов напряженно деформируемого состояния соответствующей ЛСТ-панели перемещения ЛСТК больше перемещений ЛСБК до 2 раз, а напряжения отличаются от 2 до 13 раз в зависимости от шага расстановки стоек и получаемого «пролета» с горизонтальной части панели.

Предложено при использовании численно-экспериментального метода определения коэффициента условий работы профильной стали в ЛСБК для выполнения инженерных расчетов легких сталебетонных стеновых панелей с использованием пенобетона марки по плотности D200 как с наличием проема, так и без него, по аналогии с расчетом легких сталебетонных плит [26], в расчетах целесообразно принимать коэффициент $\gamma_c=1,25$ либо проводить полноценную серию испытаний для уточнения значения коэффициента в большую сторону.

Rybakov, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels;

2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **106** Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2



6 Funding/Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00564, <https://rscf.ru/project/23-29-00564/>.

7 Acknowledgements/Благодарности

Автор выражает благодарность обществу с ограниченной ответственностью «СОВБИ» в лице генерального директора Селиверстова Анатолия Владимировича за изготовление образцов панелей для испытаний и научно-испытательной лаборатории «Политех-СКИМ-Тест» в лице заведующего Акимова Станислава Васильевича за содействие в проведении испытаний..

References/Библиографический список

- Rybakov, V.A., Kozinets, K.G., Vatin, N.I., Velichkin, V.Z., Korsun, V.I. Lightweight steel concrete structures technology with foam fiber-cement sheets. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 82(6). Pp. 103–111. DOI:10.18720/MCE.82.10..
- Chakin, E.Y. Energy efficient thermal insulation materials for enclosing wall structures. *Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]*. 2022. No. 1(6). Pp. 9-18. EDN: GYDSP.L.
- Rybakov, V., Ananeva, I., Seliverstov, A., Usanova, K. Thermal Properties of Lightweight Steel Concrete Wall Panels under Different Humidity Conditions. *Materials*. 2022. 15(9). Pp. 3193. DOI:10.3390/MA15093193.
- Rybakov, V., Seliverstov, A., Usanova, K., Rayimova, I. Combustibility of lightweight foam concrete based on natural protein foaming agent. *E3S Web of Conferences*. 2021. 264. DOI:10.1051/E3SCONF/202126405001.
- Rybakov, V., Seliverstov, A., Vakhidov, O. Fire resistance of lightweight steel-concrete slab panels under high-temperature exposure. *E3S Web of Conferences*. 2021. 264. DOI:10.1051/E3SCONF/202126402003.
- Krylova, K.K. Basic technologies and materials for construction of partitions in residential buildings. *Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]*. 2022. No. 5(5). Pp. 23-30. EDN: IBLALB.
- Popov, G.P. Analysis of the market for thermal insulation materials. *Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]*. 2021. No. 3(3). Pp. 3-8. EDN: ICRUNH.
- Sovetnikov, D.O., Videnkov, N.V., Trubina, D.A. Light gauge steel framing in construction of multi-storey buildings. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. 3(30). Pp. 152–165. DOI:10.18720/CUBS.30.11.
- Orlova, A.V., Zhmarin, E.N., Paramonov, K.O. Power efficiency of houses from light-gauge steel structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. 6(11). Pp. 1–13. DOI:10.18720/CUBS.11.1.
- Ariyanayagam, A.D., Mahendran, M. Fire performance of load bearing LSF wall systems made of low strength steel studs. *Thin-Walled Structures*. 2018. 130. Pp. 487–504. DOI:10.1016/j.tws.2018.05.018.
- GOST R 58774-2019 External self-weight and non-bearing walls with the steel frame of cold-formed zinc-coated profiles. General specifications. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170437>.
- Bronzova, M.K., Vatin, N.I., Garifullin, M.R. Frame buildings construction using monolithic foamed concrete. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. 1(28). Pp. 74–90.
- Rum, R.H.M., Jaini, Z.M., Abd Ghaffar, N.H., Abd Rahman, N. A Preliminary Experimental Study on Vibration Responses of Foamed Concrete Composite Slabs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. 271(1). DOI:10.1088/1757-899X/271/1/012102.
- Prabha, P., Palani, G.S., Lakshmanan, N., Senthil, R. Flexural Behaviour of Steel-Foam Concrete Composite Light-Weight Panels. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018. 22(9). Pp. 3534–3545. DOI:10.1007/s12205-018-0827-7.
- Jerman, M., Keppert, M., Výborný, J., Černý, R. Hygric, thermal and durability properties of autoclaved aerated concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. 41. Pp. 352–359. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.12.036.
- Hulimka, J., Krzywoń, R., Jędrzejewska, A. Laboratory Tests of Foam Concrete Slabs Reinforced with Composite Grid. *Procedia Engineering*. 2017. 193. Pp. 337–344.

Rybakov, V.

Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Wall Panels; 2023; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 106 Article No 10602. doi: 10.4123/CUBS.106.2



- DOI:10.1016/j.proeng.2017.06.222.
17. Kadela, M., Kozłowski, M. Foamed Concrete Layer as Sub-structure of Industrial Concrete Floor. *Procedia Engineering*. 2016. 161. Pp. 468–476. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.663.
 18. Vlcek, J., Drusa, M., Scherfel, W., Sedlar, B. Experimental Investigation of Properties of Foam Concrete for Industrial Floors in Testing Field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. 95(2). DOI:10.1088/1755-1315/95/2/022049.
 19. Orlovich, R.B., Bepalov, V. V., Derkach, V.N. Compressed-bent masonry walls reinforced with composite materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 79(3). Pp. 112–119. DOI:10.18720/MCE.79.12.
 20. Bepalov, V. V., Ucer, D., Salmanov, I.D., Kurbanov, I.N., Kupavykh, S. V. Deformation compatibility of masonry and composite materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 78(2). Pp. 136–150. DOI:10.18720/MCE.78.11.
 21. Barabanshchikov, Y., Fedorenko, I., Kostyrya, S., Usanova, K. Cold-Bonded Fly Ash Lightweight Aggregate Concretes with Low Thermal Transmittance: Review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. 983. Pp. 858–866. DOI:10.1007/978-3-030-19868-8_84.
 22. Krutilin, A.B., Rykhliionak, Y.A., Liashkevich, V. V. Thermophysical characteristics of low density autoclaved aerated concrete and their influence on durability of exterior walls of buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. 54(2). Pp. 46–55. DOI:10.5862/MCE.54.5.
 23. Vatin, N.I., Gorshkov, A.S., Kornienko, S.V. The consumer properties of wall products from AAC. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. 1(40). Pp. 78–101.
 24. Alyabyeva, D.A. Reinforcing of large gas-concrete panels from an autoclave. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. 8(35). Pp. 24–35.
 25. Samarin, O.D. Temperature in linear elements of enclosing structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. 70(2). Pp. 3–10. DOI:10.5862/MCE.70.1.
 26. Leshchenko, M. V., Semko, V. Thermal characteristics of the external walling made of cold-formed steel studs and polystyrene concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. 60(8). Pp. 44–55. DOI:10.5862/MCE.60.6.
 27. GOST 27751-2014 Reliability for constructions and foundations. General principles. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115736>.
 28. SP 16.13330.2017 Steel structures. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588>.
 29. SP 260.1325800.2016 Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design rules. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456033922>.
 30. SP 266.1325800.2016 Composite steel and concrete structures. Design rules. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044285>.
 31. Eurocode-3. Design of steel structure.
 32. Rybakov, V.A. Condition Load Effect Factor of Profile Steel in Lightweight Steel Concrete Structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020. 89(4). Pp. 8907–8907. DOI:10.18720/CUBS.89.7.
 33. SP 20.13330.2016 Loads and actions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>.
 34. Gordeeva, A., Vatin, N. Finite element calculation model of thin-walled cold-formed profile in software package SCAD Office. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. 21(3). Pp. 36–46.
 35. Yurchenko, V. Designing of steel frameworks from thin-walled cold-formed profiles in SCAD Office. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. 18(8). Pp. 38–46. DOI:10.18720/MCE.18.7.
 36. Vlasov, P.P., Lalina, I.I., Savchenko, A., Viacheslavovich, E.E., Nesterov, A.A. Finite element analysis of the steel column in SCAD. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. 38(11). Pp. 27–41. DOI:10.18720/CUBS.38.3..
 37. GOST 14918-80 Continuously galvanized sheet steel. Specifications. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005124>.
 38. Popov, M. Determination of the physical and mechanical characteristics of foam concrete for the calculation of foam concrete structures [Opredeleniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik penobetona dlya rascheta penobetonnykh konstruktsiy]. *Scientific Journal of KubSAU*. 2006. 17. Pp. 42–54. URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/01/pdf/05.pdf>.
 39. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403082>.