

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-20-34

Ряжских Б.Е.

Воронежский государственный технический университет

E-mail: boris_ryazhskikh@mail.ru

ИСПЫТАНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ ОБЪЕМНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО БЛОКА 17-ЭТАЖНОГО ОБЪЕМНО-БЛОЧНОГО ЗДАНИЯ (ОБД)

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний статическим нагружением объемного железобетонного блока из серии 17-этажных многоквартирных домов, выполненных по технологии объемно-блочного домостроения (ОБД). Дан краткий обзор существующих исследований на тему объемно-блочного домостроения в частности и модульного строительства в целом. Обозначены основные факторы, сдерживающие применение данной технологии. Подробно описан порядок и этапы проведения испытания, а также конструкция испытательного стенда. Показано, из каких соображений назначена нагрузка при испытании и каким способом происходит ее моделирование. Приведена информация о применяемом оборудовании, датчиках и работе системы сбора данных. Приведены показания датчиков перемещений для каждого этапа нагружения, а также ширина раскрытия трещин при контрольных нагрузках. На основании полученных данных о ширине раскрытия трещин, а также деформациях стен блока была выполнена качественная и количественная оценка его прочности, жесткости и трещиностойкости. По результатам испытания получено, что блок удовлетворяет всем требованиям действующей нормативной документации. Последующее увеличение нагрузки сверх предельной по расчету показало, что несущая способность стен блока не менее, чем в 3,6 раз выше требуемой. Результаты испытаний позволяют сделать вывод о наличии достаточного запаса несущей способности, что открывает широкие возможности для применения технологии ОБД в высотном строительстве.

Ключевые слова: объемно-блочное домостроение, испытания конструкций, объемный блок, сборный железобетон, железобетонные конструкции, модульное строительство.

Введение. В современном мире в условиях повышенного спроса на жилье в крупных городах как никогда остро стоит вопрос снижения стоимости и повышения темпов жилищного строительства. Одним из способов достижения этого могут быть технологии модульного строительства, включающие в себя объемно-блочное домостроение (ОБД), многослойные клееные деревянные панели, легкие стальные тонкостенные конструкции и др.

Объемные (объемно-пространственные) блоки – крупная объемная конструкция, являющаяся функциональной структурной единицей здания в виде пространственной тонкостенной конструкции, обладающей необходимыми значениями прочности, жесткости и устойчивости, которая может являться: комнатой, лестничной клеткой, пространственной границей между помещениями. Применение объемных блоков позволяет достичь высокой степени заводской готовности здания (до 85 %) за счет предустановки оконных и дверных блоков, сантехнического оборудования, выполнения внутренней отделки помещений и других работ [1].

Технология ОБД была запатентована в 1931 году Ладовским Н.А. и Карауловым В.П., ими же была разработана каркасно-блочная система зданий. Дальнейшее развитие технология получила в 60–70-е гг. с началом серийного производства

объемных блоков и массового строительства жилья. Объемно-блочное строительство в те времена было новшеством, которое уменьшало себестоимость жилья, а также давало существенную экономию материалов и трудовых ресурсов [2].

Несмотря на то, что по данным экономического анализа применение объемных блоков в сравнении с крупнопанельным строительством позволяло уменьшить трудоемкость в 2–3 раза, сократить количество подъемов при монтаже в 4–5 раз, а экономия бетона достигает 28 %, широкого применения в СССР технология ОБД не нашла. Среди выделяемых причин: отсутствие больших крытых площадок для складирования, сложность и дороговизна производства и транспортировки блоков, отсутствие необходимого кранового оборудования [3].

На текущий момент на территории России существует лишь три предприятия, занимающиеся строительством зданий с применением объемно-блочной технологии. Наиболее молодое и современное из них находится в г. Воронеже. Более подробная информация об отечественных заводах ОБД отражена в работе [4].

Зарубежный опыт. В опыте зарубежного строительства тоже имеется немало примеров применения модульных зданий по той или иной технологии. Существенно продвинулись в этом вопросе в США, Великобритании, Германии, Канаде, Австралии, Сингапуре и Китае [5, 6].

Например, в 2003 году был построен жилой дом Raines Court, который был первым модульным жилым домом в Великобритании, за что был удостоен множества наград [7]. В 2013 году в Ситле, США компанией OneBuild был возведен семиэтажный модульный жилой дом, основной каркас которого был смонтирован в течение нескольких недель [8]. В Индии компания Hommission занимается возведением жилых домов по технологии ОБД. При этом изготовление и монтаж блоков для 20-квартирного пятиэтажного дома занимает 33 дня [9].

В работе [10] описывается возведение общественной школы в Бостоне, США. Применение пространственных сборных железобетонных конструкций позволило выполнить строительство за 108 дней к началу учебного года. Авторы также отмечают, что применение железобетонных конструкций в отличие от каркасных модулей делает здания более надежными и долговечными.

Исследованием вопроса целесообразности применения модульного строительства занимается ряд иностранных ученых. Например, Свэн Бертелсон в своем докладе [11] указывает, что применение модулей заводского изготовления может не только сократить стоимость строительства, но и существенно повысить качество. Однако, при этом автор поднимает вопрос ограниченности в архитектурных решениях, которая присуща сборному строительству и может испортить внешний облик города. Автор считает, что при разработке конструктивных решений нужно оставить пространство для изменения дизайна и архитектуры под нужды заказчиков.

В исследовании [12] авторы указывают основные преимущества применения модульных зданий по сравнению с монолитными. Помимо снижения стоимости строительства выделены следующие достоинства: высокая продуктивность, меньшая травмоопасность для строителей, снижение негативного влияния на окружающую среду.

Следует отметить, что в вопросе выбора технологии строительства большинство девелоперов отдают предпочтение монолитному железобетону, что наглядно видно на примере исследования [13], проведенного в Гонконге. Среди сборных железобетонных элементов наибольшее применение находят фасадные системы, лестничные марши, плиты перекрытия и балконные плиты. Остальные конструкции здания при этом чаще всего выполняются по месту на строительной площадке.

Причины слабого распространения модульного строительства проанализированы в работах

[14, 15], в которых были подробно описаны преимущества и недостатки технологии. Среди сдерживающих факторов были выделены: высокие начальные инвестиции, сложности с транспортировкой крупногабаритных модулей, сложность организации и координации строительного производства, отсутствие специалистов с необходимым опытом, а также нехватка нормативной базы.

В работе [16] проанализированы сдерживающие факторы, которые мешают распространению модульного строительства в Индии. Среди прочих автор выделяет: ограниченность архитектурных решений, сложность обеспечения требуемого качества монтажа конструкций на стройплощадке, предвзятость широких масс и отношение к сборному жилью как к низкогокачественному.

Недостаток нормативной базы, а также исследований, посвященных работе конструкций, отмечают также авторы работ [17, 18]. Нехватка работ, посвященных исследованию прочности, деформативности и устойчивости сборных блоков в составе многоэтажных зданий, не позволяет сформировать требуемую нормативную базу. Это, в свою очередь, сильно ограничивает область применения модульных зданий, как по этажности, так и по назначению.

Другие исследования по теме. Исследования, посвященные анализу работы объемных железобетонных блоков в составе здания, представлены скудно как в российской научной среде, так и за рубежом. В работе [19] выполнен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния объемно-блочных конструкций в составе 17-этажного здания с учетом и без учета поэтапного возведения. Теми же авторами выполнен анализ работы платформенных стыков объемных блоков и методов их моделирования в расчетных моделях [20]. В исследовании [21] приведены результаты испытаний статическим нагружением объемных железобетонных блоков типа «колпак». В результате испытаний получена разрушающая нагрузка.

Отдельного внимания заслуживает исследование [22], в котором изучена работа зданий, выполненных по технологии ОБД, под воздействием динамических нагрузок от землетрясения. Авторы выполнили конечно-элементный анализ зданий различной этажности, а также рассмотрели различные типы соединений сборных блоков и их влияние на собственные частоты системы.

Объект испытаний. В ходе данного исследования были произведены испытания статическим нагружением объемного железобетонного

блока, изготовленного по новой серии 17-этажных жилых домов. Была выполнена качественная и количественная оценка его прочности и трещиностойкости. Результаты испытаний позволяют сделать вывод о наличии достаточного запаса несущей способности, что открывает широкие возможности для применения технологии ОБД в высотном строительстве.

Испытанный объемный железобетонный блок ОЖБ-7.1._-г изготовлен в соответствии с рабочей документацией на 17-этажные блок-секции серии ОБД-17 ООО «Инженерпроект». Объемный блок является конструкцией типового этажа секции и относится к типу «колпак». Он представляет собой монолитную железобетонную призматическую оболочку, имеющую 5 граней – четыре стены и потолок, плитой пола служит потолок нижележащего блока. Размеры блока в плане составляют 6000×3550 мм, высота объемного блока равна 2760 мм. Стены и перекрытия плоские, толщиной соответственно 100 и

160 мм. В двух смежных стенах предусмотрены дверные проемы шириной 910 и 1010 мм. В перекрытии блока расположено отверстие под вентиляционные блоки. Кроме того, имеется проем под балконный оконно-дверной блок шириной 1350 мм. Блок изготовлен из бетона класса В20. Опираение вышележащего блока на нижележащий выполняется через шов из цементно-песчаного раствора марки М200 толщиной 20 мм. Опалубочный чертеж показан на рисунке 1.

Армирование блоков выполняется сварными сетками с ячейкой 200×200 мм из арматуры класса А500С и проволоки Вр-1. Армирование перекрытий двухслойное, армирование стен однослойное с установкой сеток по середине толщины сечения. Требуемое по расчету дополнительное армирование стен и перекрытия, а также конструктивное армирование выполняется отдельными стержнями из арматуры класса А500С.

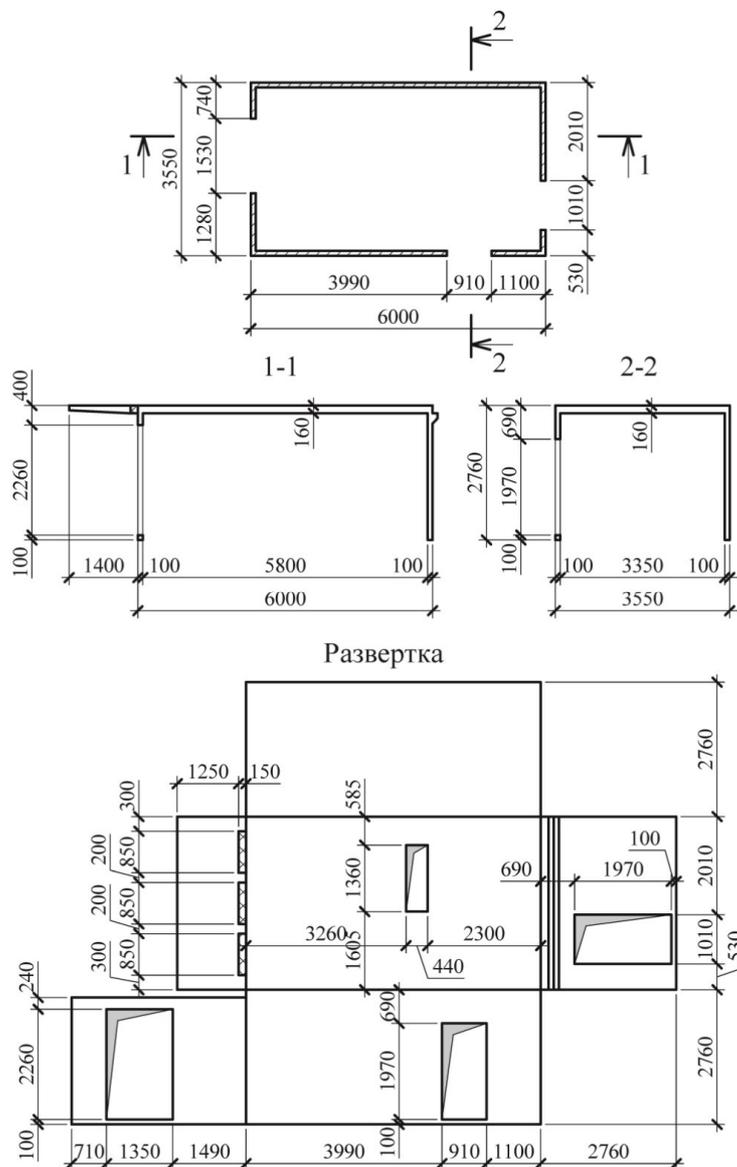


Рис. 1. Опалубочный чертеж блока ОЖБ-7.1._-г

Схема опирания и нагружения блока. В соответствии с заданием была разработана программа испытания объемного блока на вертикальные нагрузки. Она включала в себя сведения о применяемых средствах испытаний и вспомогательных устройствах, схемах опирания и нагружения блока, порядке проведения испытаний и подготовки к ним. Программа испытаний была составлена на основании проектной документации по объекту испытания – комплекту рабочих чертежей 17-этажных объемно-блочных блок-секций серии ОБД-17, ОБД-17-КЖ.И2, ООО «Инженерпроект».

Нагружение конструкции блока проходило в специально изготовленном испытательном стенде производства ООО «Выбор» (рис. 2). Стенд был специально сконструирован для проведения такого рода испытаний. Его конструкция состоит из четырехветвевых колонн, продольных и поперечных балок, а также силового фундамента, воспринимающего растягивающие нагрузки от колонн.

Для обеспечения передачи более точных усилий на испытываемый объемный блок нагружение производится через дополнительный блок того же типа, установленный сверху на растворном шве марки М200 (рис. 3).



Рис. 2. Испытуемый блок в испытательном стенде

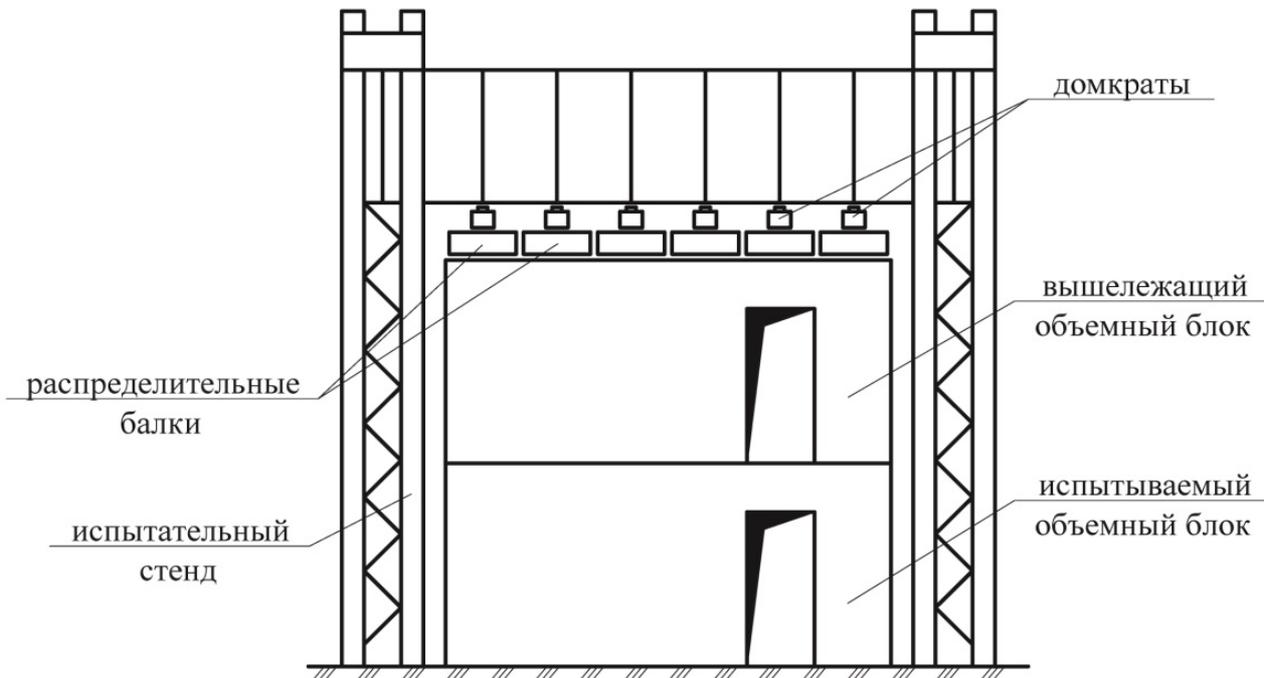


Рис. 3. Схема установки блока

Нагружение блока производилось вертикальной нагрузкой по его периметру, за исключением зон над дверными проемами. Принципиальная схема, согласно которой происходит нагру-

жение испытываемой конструкции, выбрана согласно проектной документации и представлена на рисунке 4. Такая схема приложения нагрузок моделирует нагрузки от вышележащих конструкций.

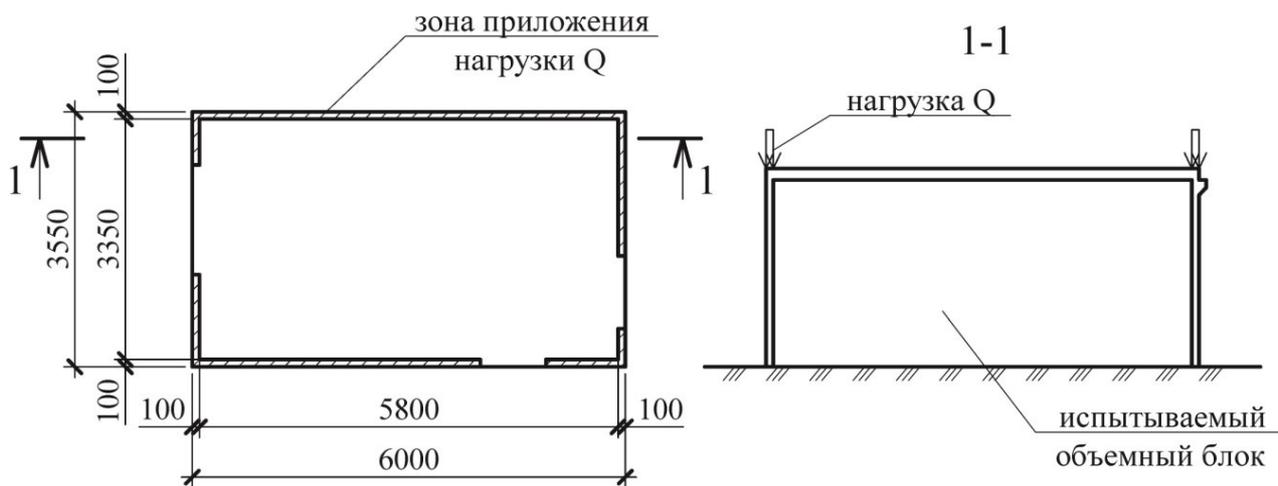


Рис. 4. Схема приложения нагрузки

Нагрузки для испытания были подобраны на основании результатов конечно-элементного моделирования секции многоэтажного здания в программном комплексе Лира-САПР (рис. 5).

При этом в модели было учтено взаимодействие секции с грунтом и с соседними секциями, поэтажное возведение и геометрическая нелинейность.

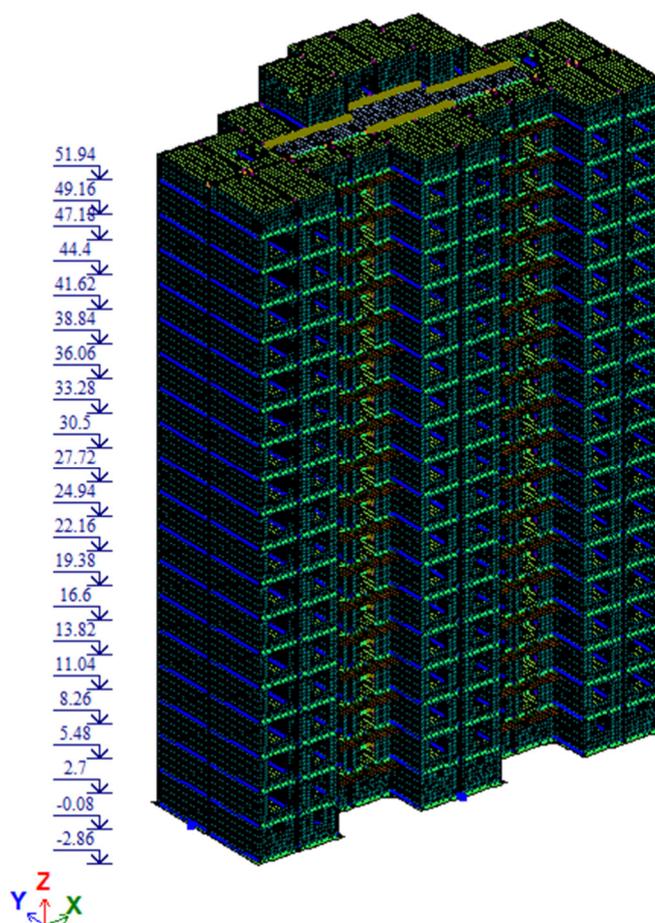


Рис. 5. Конечно-элементная модель секции здания

Моделирование нагрузки на стены блока происходило с применением гидродомкратов грузоподъемностью 300 тн производства ЗАО «Трансгидромаш» в количестве 16 штук.

Домкраты передают нагрузку на стены вышележащего блока через балки, что позволяет распределить нагрузки равномерно.

Следует отметить, что согласно расчету, нагрузка на стены не равномерная по периметру блока (рис. 6). Схема расположения загрузочных устройств, нумерации гидродомкратов и размеров балок под домкратами представлена на рис. 7.

Приложение нагрузок производилось в соответствии с порядком, указанным в таблице 1. Контрольной нагрузке по жесткости и раскрытию трещин соответствует этап 4, контрольной по прочности арматуры и прочности бетона – 7 и 11 этап соответственно.

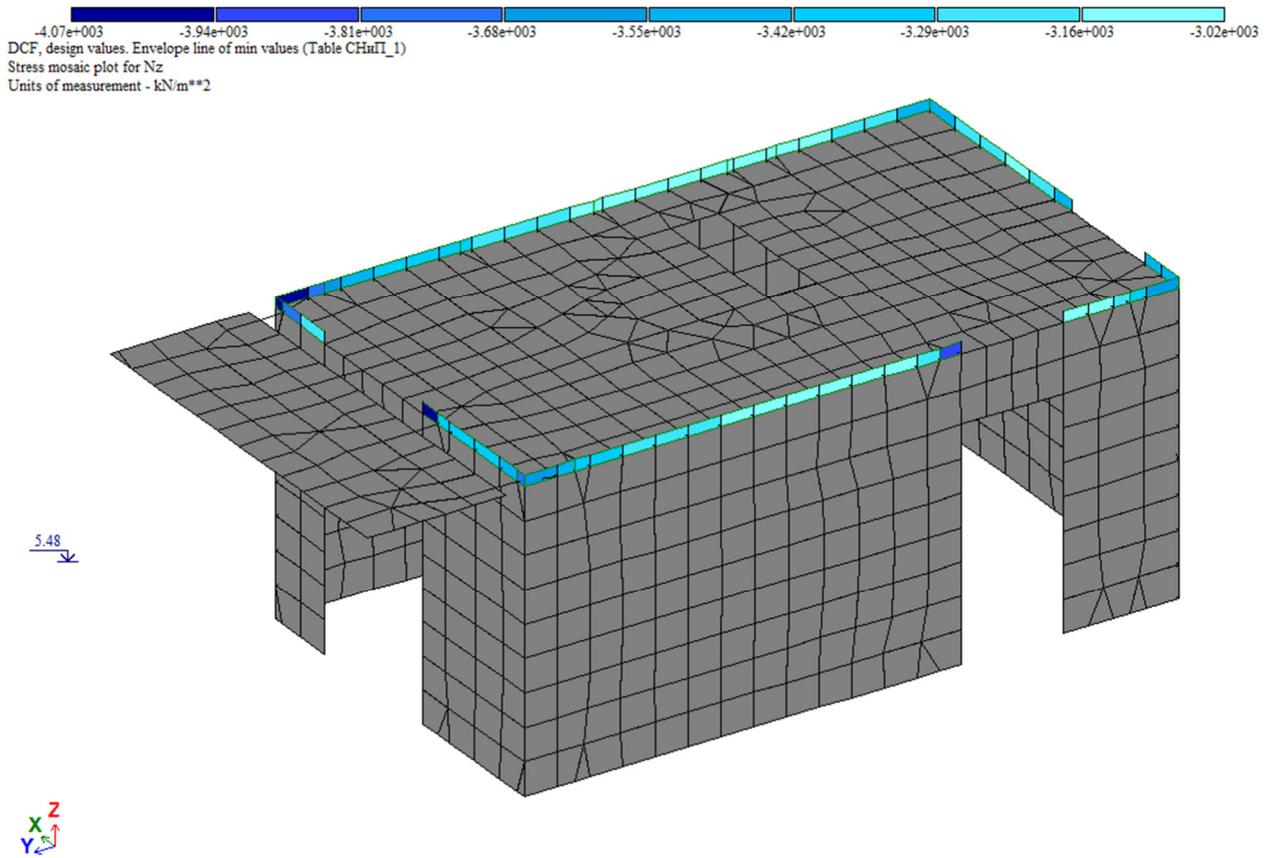


Рис. 6. Нагрузки на блок из расчетной схемы

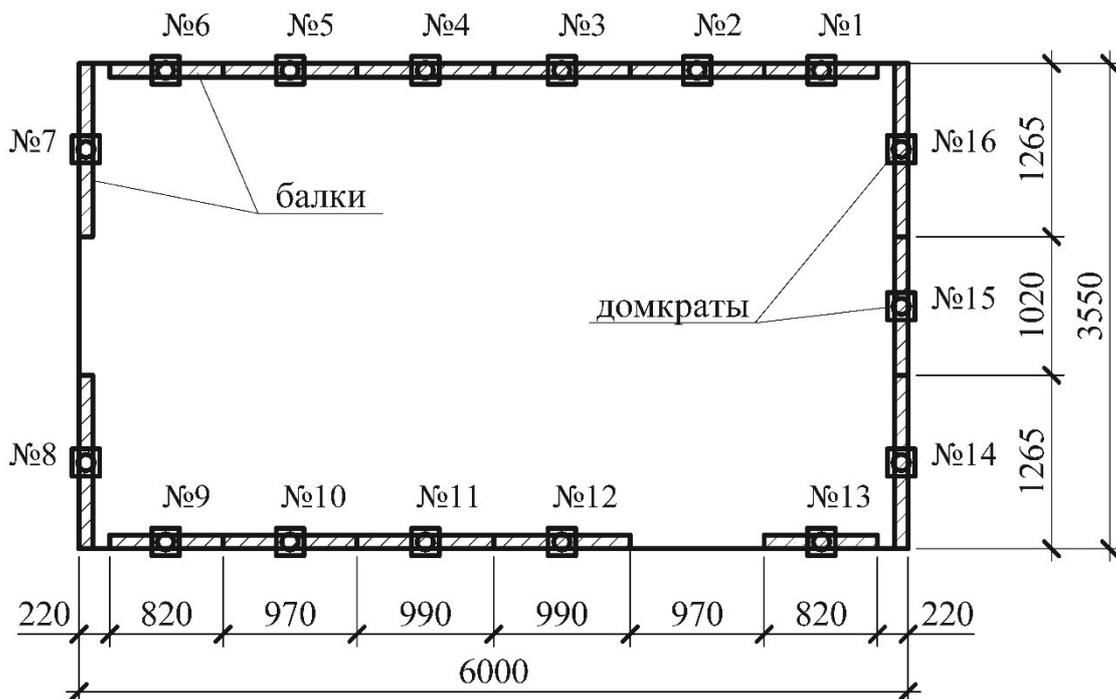


Рис. 7. Схема расположения домкратов и распределяющих балок

Таблица 1

Порядок приложения нагрузки на блок

№ п/п	Нагрузка на домкрате, т																Σ
	Номер домкрата																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	27	24	24	19	14	12	12	19	12	14	19	27	27	14	24	37	322
2	32	28	28	22	16	14	14	22	14	16	22	32	32	16	28	43	375
3	36	32	32	25	18	16	16	25	16	18	25	36	36	18	32	50	429
4	45	39	39	32	23	20	20	32	20	23	32	45	45	23	39	62	536
5	54	48	48	38	27	24	24	38	24	27	38	54	54	27	48	75	648
6	62	55	55	44	31	27	27	44	27	31	44	62	62	31	55	86	743
7	65	57	57	46	33	28	28	46	28	33	46	65	65	33	57	89	774
8	68	60	60	48	34	30	30	48	30	34	48	68	68	34	60	94	810
9	72	63	63	50	36	32	32	50	32	36	50	72	72	36	63	99	858
10	76	67	67	53	38	33	33	53	33	38	53	76	76	38	67	105	905
11	80	70	70	56	40	35	35	56	35	40	56	80	80	40	70	110	953
12	84	74	74	58	42	37	37	58	37	42	58	84	84	42	74	116	1001
13	88	77	77	61	44	39	39	61	39	44	61	88	88	44	77	121	1048
14	88	77	77	63	60	64	64	63	64	60	63	88	88	60	77	128	1183
15	96	84	84	67	69	70	70	67	70	69	67	96	96	69	84	132	1292
16	89	85	85	80	76	82	82	80	82	76	80	89	89	76	85	132	1367
17	94	93	93	90	87	92	92	90	92	87	90	94	94	87	93	132	1500
18	98	96	96	95	94	103	103	95	103	94	95	98	98	94	96	133	1592
19	104	103	103	106	105	106	106	106	106	105	106	104	104	105	103	128	1701
20	117	112	112	108	109	114	114	108	114	109	108	117	117	109	112	131	1812
21	114	120	120	118	117	118	118	118	118	117	118	114	114	117	120	132	1892
22	129	130	130	123	128	126	126	123	126	128	123	129	129	128	130	133	2042
23	138	138	138	138	137	137	137	138	137	137	138	138	138	137	138	140	2204

Измерительные приборы и оборудование.
Измерения деформаций и перемещений производились индуктивными датчиками линейных пе-

ремещений LVDT серии RM (рис. 8 и 9). Измерение ширины раскрытия трещин выполнялись с помощью микроскопов МПБ2 с ценой деления 0,05 мм.

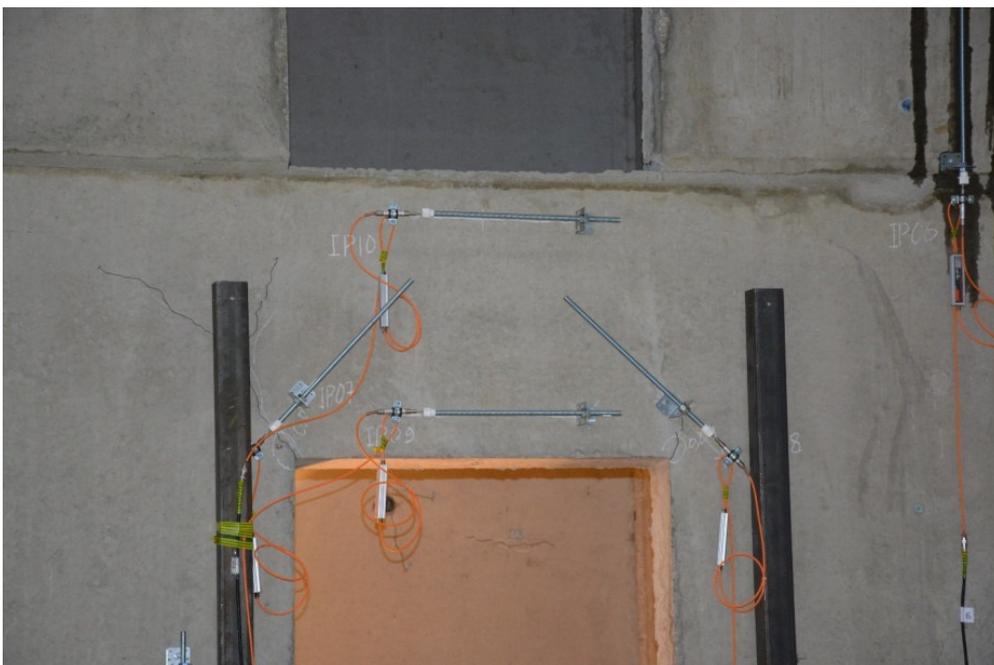


Рис. 8. Индукционные датчики в плоскости стен



Рис. 9. Индукционные датчики из плоскости стен

Все датчики были пронумерованы и расставлены в соответствии с проектной документацией. При этом для измерения деформаций в плоскости конструкций и на растворном шве были использованы датчики с ходом 2 мм, для измерения деформаций из плоскости конструкций – 10 мм, для регистрации предполагаемых трещин над проемами – 5 мм.

Для удобства всем стенам блока были даны наименования по сторонам света. Расстановка датчиков производилась в наиболее характерных местах. Вертикальные продольные деформации сжатия, а также выгибы стен фиксировались в средней трети стен по высоте. При этом особое

внимание уделялось узким простенкам, в которых согласно результатам расчетов, возникают наибольшие напряжения сжатия. По низу стен устанавливались датчики перемещений для фиксации смещений стен блока в плане. Над проемами датчики устанавливались горизонтально, а также под углом 45 градусов к горизонту для отслеживания ширины раскрытия трещин в перемычках. Для контроля деформаций сжатия в растворном шве между блоками установлены два датчика: в наиболее загруженных простенках. Нумерация и расположение датчиков перемещений представлены на рисунке 10.

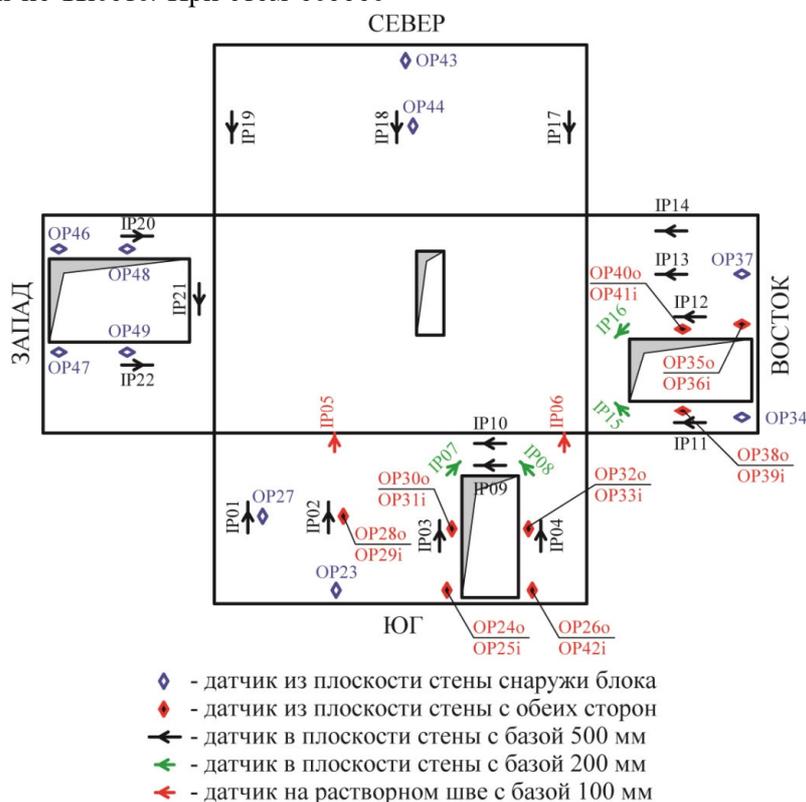


Рис. 10. Принципиальная схема расположения датчиков перемещений



Рис. 11. Система сбора данных в подключенном состоянии

Показания датчиков перемещений регистрировались с помощью многоканального измерительного комплекса (система сбора данных) TDS-530 (производство TML Ltd, Япония). Он предназначен для проведения автоматических измерений физических параметров при помощи системы датчиков. Измерительный комплекс оснащен базовым модулем с возможностью измерений по 30 каналам. Сигналы от датчиков передавались на многоканальный измерительный комплекс через систему экранированных кабелей. Время измерения сигнала по одному каналу составляет 0,04 с. Измерительный комплекс был

подключен к ноутбуку со специализированным программным обеспечением, позволяющим производить мониторинг измеряемых показателей в процессе испытаний (рис. 11).

Проведение испытаний и результаты. В процессе осмотра блока перед нагружением были выявлены раскрытые технологические трещины. Значения ширины раскрытия трещин не превышают предельно допустимых по ГОСТ 13015-2012.

Схема расположения трещин представлена на рисунке 12.

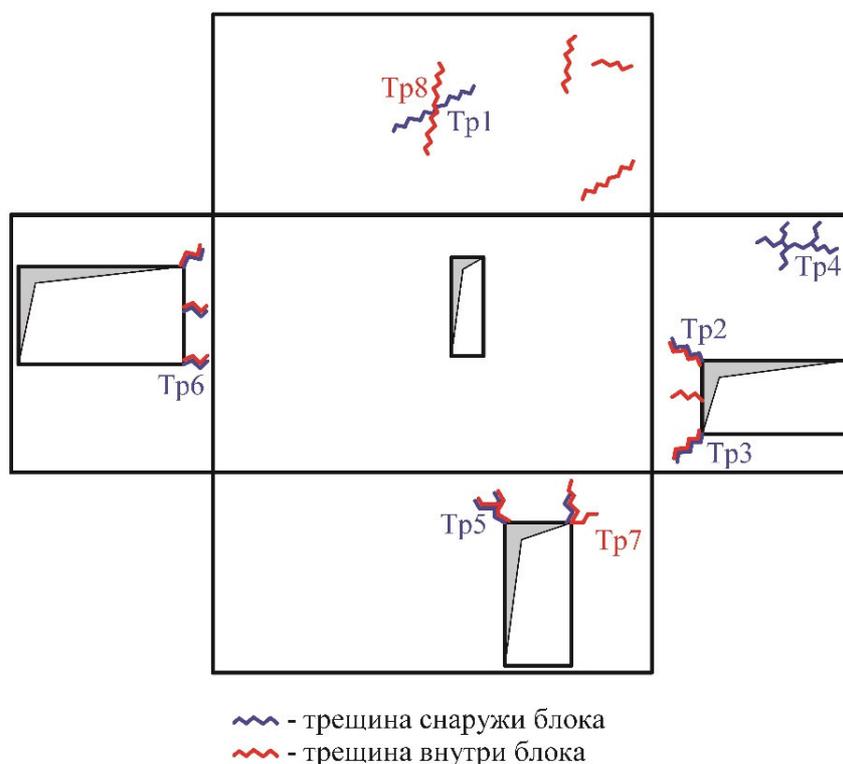


Рис. 12. Схема расположения трещин внутри блока

Значения ширины раскрытия основных трещин указаны в таблице 2.

Ширина раскрытия трещин

№ трещины	Расположение	Ширина раскрытия трещины $a_{ср}$, мм			
		Этап 0	Этап 1	Этап 3	Этап 4
Тр1	Стена С – снаружи	0,15	0,15	0,15	0,15
Тр2	Стена В – снаружи	0,08	0,15	0,14	0,13
Тр3	Стена В – снаружи	0,08	0,05	0,05	0,04
Тр4	Стена В – снаружи	0,14	0,14	0,14	0,14
Тр5	Стена Ю – снаружи	0,35	0,30	0,28	0,30
Тр6	Стена З – снаружи	0,22	0,20	0,12	0,12
Тр7	Стена Ю – внутри	0,24	0,20	0,15	0,13
Тр8	Стена С – внутри	0,11	0,11	0,11	0,11

Сначала нагружение блока производилось до уровня, соответствующего суммарной контрольной нагрузке по жесткости и раскрытию трещин $q_1=536$ тн (этап 4). За всеми технологическими трещинами велось наблюдение. При этом значительного прироста в ширине раскрытия они не получили. Значение прироста ширины раскрытия не превышает предельно допустимое $a_{контр} \times 1,05 = 0,28 \times 1,05 = 0,294$ мм и кроме того не превышает нормируемое значение предельно допустимой ширины непродолжительного раскрытия трещин $a_{ср1} = 0,4$ мм.

Деформации стен из плоскости регистрировались индуктивными датчиками перемещений с ходом 10 мм. Максимальный выгиб стены при контрольной нагрузке по проверке жесткости $q_1=536$ тн составил 0,86 мм на датчике ОР40, что значительно ниже предельно допустимого значения $h_s/500 = 2600/500 = 5,2$ мм по СП 20.13330.2016

«Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

Деформации стен в плоскости регистрировались индуктивными датчиками перемещений с базой 500 мм. Максимальная относительная деформация от сжатия при контрольной нагрузке по проверке жесткости $q_1=536$ тн составила $37,6 \cdot 10^{-5}$ на датчике IP12, что значительно ниже предельно допустимого значения $\epsilon_{bt0} = 200 \cdot 10^{-5}$ по СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Значит, стены блока удовлетворяют требованиям нормативной документации, предъявляемым к их жесткости.

Показания датчиков, расположенных в характерных местах, наглядно показаны на рисунках 13–16.

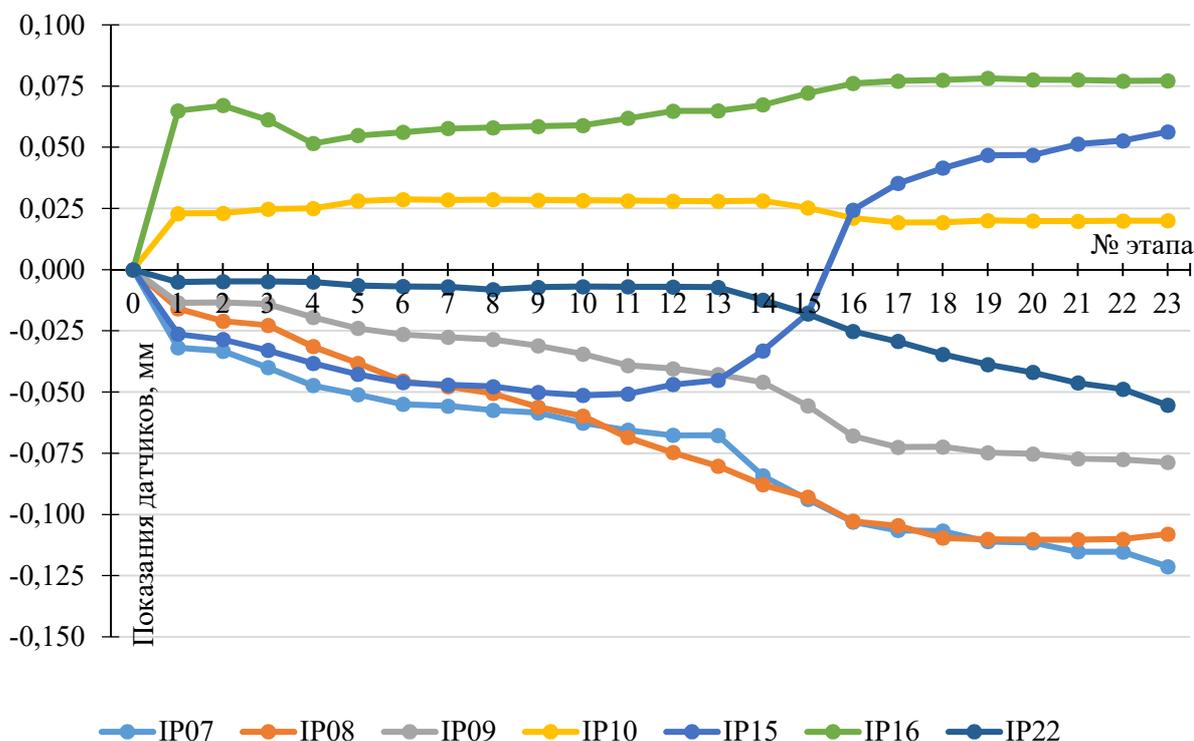


Рис. 13. Показания датчиков в месте предполагаемого образования трещин

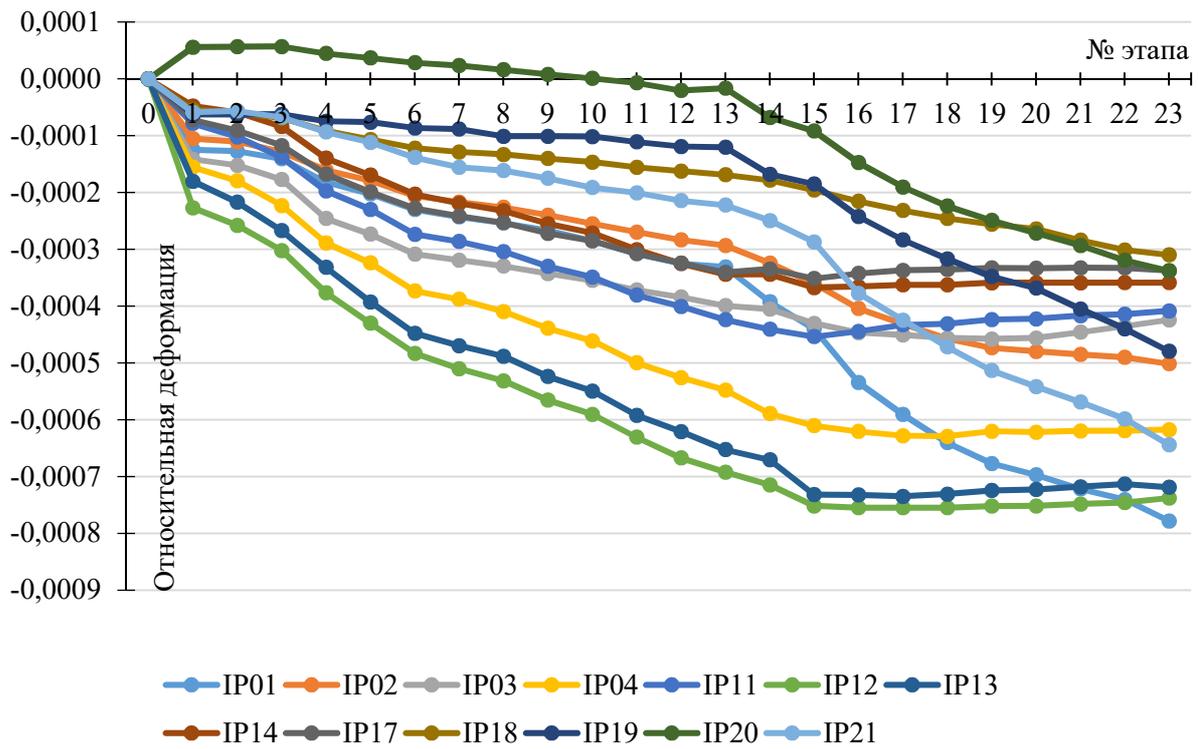


Рис. 14. Показания датчиков в плоскости стен

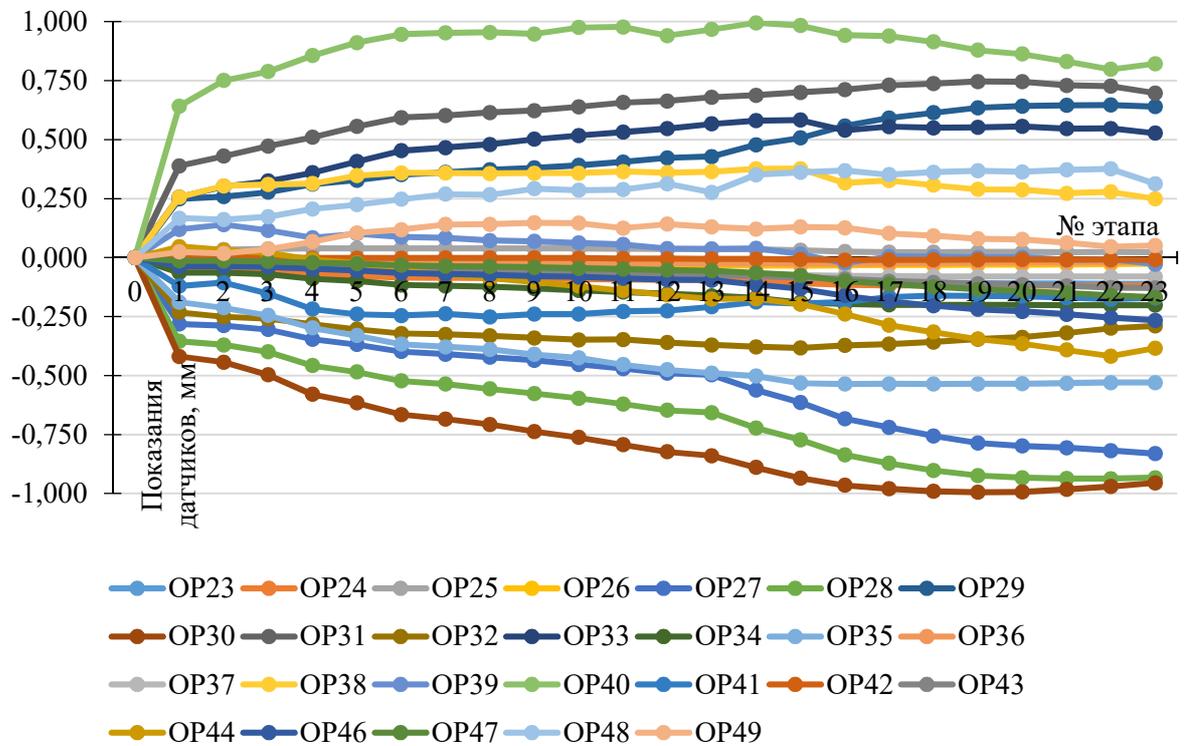


Рис. 15. Показания датчиков из плоскости стен

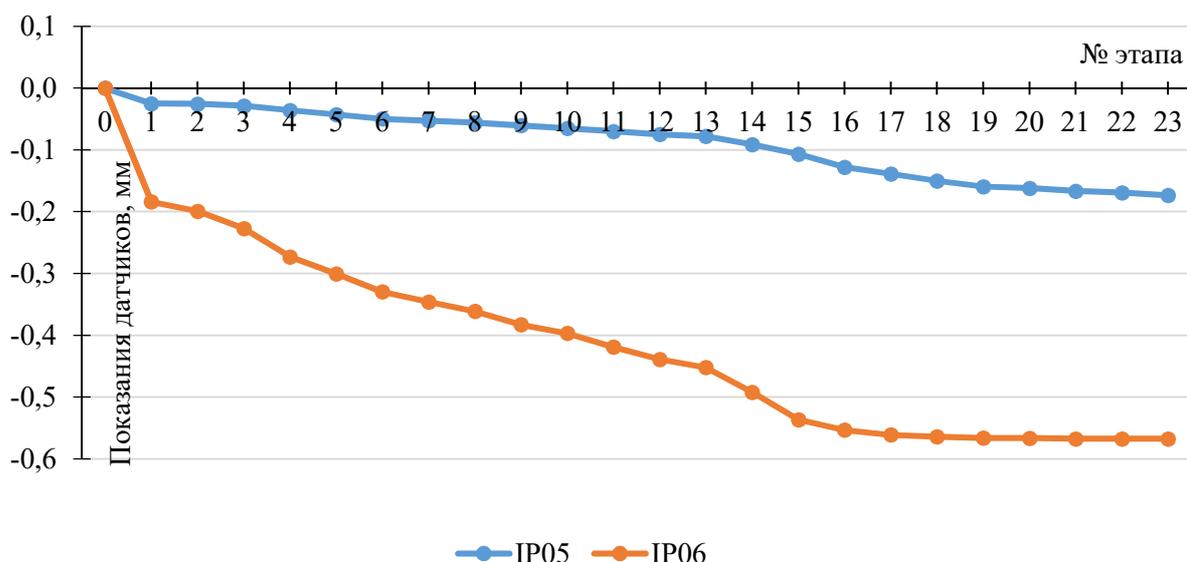


Рис. 16. Показания датчиков у растворного шва

Далее производилось нагружение блока до контрольной нагрузки по прочности для первого случая разрушения $q_2=774$ тн (этап 7). При этом разрушение по первому случаю не произошло.

При последующем нагружении была пройдена нагрузка, соответствующая второму случаю разрушения $q_3=953$ тн (этап 11). При этом разрушение по второму случаю не произошло.

После приложения нагрузки $q=2270$ тн произошло разрушение верхнего блока по первому случаю в месте приложения нагрузок от подократных балок на стене СЕВЕР.

Таким образом, достигнуть разрушающей нагрузки для испытываемого блока не удалось. Блок удовлетворяет предъявляемым требованиям по прочности.

Выводы. По результатам изучения документации, а также испытания стен блока ОЖБ-7.1. – т статическим нагружением и анализа полученных экспериментальных данных сделаны следующие выводы:

1. Прирост раскрытия трещин в стенах при контрольной нагрузке был незначительным и составил 0,05 мм, что не превышает предельно допустимого значения 0,294 мм. Таким образом, стены блока удовлетворяют требованиям рабочей и нормативной документации по трещиностойкости.

2. Максимальный выгиб стен из плоскости 0,86 мм при контрольном значении 5,2 мм. Наибольшая относительная деформация сжатия в плоскости стен составила $37,6 \cdot 10^{-5}$, что значительно ниже предельно допустимого значения $\varepsilon_{bt0}=200 \cdot 10^{-5}$. Таким образом, стены блока удовлетворяют требованиям рабочей и нормативной документации по жесткости.

3. При суммарной нагрузке на блок 953 тн, соответствующей контрольной нагрузке по прочности по второму случаю разрушения, видимых следов разрушения растворного шва не обнаружено.

4. По достижении на блок контрольных нагрузок по прочности визуальных признаков разрушения обнаружено не было. Это говорит о соответствии блока требованиям рабочей и нормативной документации по прочности. Результаты последующего нагружения показывают, что коэффициент запаса прочности стен блока составляет не менее 3,6.

5. ОБД является перспективной технологией в многоэтажном жилищном строительстве. При этом несущая способность и трещиностойкость объемных железобетонных блоков различной конфигурации, а также их работа в составе зданий представляет собой обширное поле для последующих исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самсонова М.Г., Семенова Э.Е. История и тенденции развития объемно-блочного домостроения в России и за рубежом // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. №2. С. 37–43.
2. Хубаев А.О., Саакян С.С. Практика применения объемно-блочного домостроения в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2020. №3 (39). С. 112–119. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.03.10
3. Ализаде С.А. Объемно-блочное домостроение: опыт и перспективы развития // Архитектура и дизайн. 2017. №1. С. 38–52. DOI: 10.7256/2585-7789.2017.1.23079

4. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // Жилищное строительство. 2016. №3. С. 26–33.
5. Goodier C.I., Pan W. The future of UK housebuilding // RICS research report. London: RICS, December 2010.
6. Pan W., Gibb A., Dainty A. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods // Building research & information. 2008. Vol. 36 (1). Pp. 56–67. DOI: 10.1080/09613210701204013
7. Raines Court – Residential Projects – Allford Hall Monaghan Morris [электронный ресурс]. URL: <https://www.ahmm.co.uk/projects/residential/raines-court/> (дата обращения: 08.09.2023).
8. Apartment airlift in Belltown | Crosscut [электронный ресурс]. URL: <https://crosscut.com/2013/10/n-habit-stacks-49-prefab-units-belltown> (дата обращения: 08.09.2023).
9. Monolithic volumetric precast. Hommission [электронный ресурс]. URL: <http://www.hommission.com/pdf/E-Brochure.pdf> (дата обращения: 08.09.2023).
10. Smith M.A., Schreffler D., Messenger H. Precast concrete modules speed school construction // PCI Journal. 2000. Vol. 45 (4). Pp. 36–42. DOI: 10.15554/pcij.07012000.36.42
11. Bertelsen S. Modularization – a third approach to making construction lean? // 13th annual conference in the International Group for Lean Construction (July 2005). Sydney, 2005. Pp. 81–88.
12. Jadhav S., Kadam A., Dangat M., More S., Tanpure M. Analysing precast & modular construction with respect to design and cost // International Journal of Creative Research Thoughts. 2022. Vol. 10 (5). Pp. 644–649.
13. Jaillon L., Poon C.S. The evolution of pre-fabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector // Automation in Construction. 2009. Vol. 18. Pp. 239–248. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.09.002
14. Abdelmageed S.M., Abdelkhalek S., Zayed T. Benefits and Challenges of Modular Integrated Construction in Hong Kong: A Literature Review // The 8th International Conference on Construction Engineering and Project Management (7-8 December 2020). Hong Kong SAR, 2020.
15. Zhang X., Skitmore M., Peng Y. Exploring the challenges to industrialized residential building in China // Habitat International. 2014. Vol. 41. Pp. 176–184. DOI: 10.1016/j.habitatint.2013.08.005
16. Ar. Ravi Prakash Mishra. Review of prefabricated prefinished Volumetric Construction and its application in India // International Journal of Research Publication and Reviews. 2022. Vol. 3. Pp. 568–573.
17. Gong T., Yang J., Hu H., Xu F. Construction technology of off-site precast concrete buildings // Frontiers of Engineering Management. 2015. Vol. 2 (2). Pp. 122–124. DOI: 10.15302/J-FEM-2015039
18. Pan W., Yang Y., Yang L. High-rise modular building: ten-year journey and future development // Construction Research Congress 2018 (2-4 April 2018). New Orleans: ASCE, 2018. Pp. 523–532. DOI: 10.1061/9780784481301.052
19. Саражинский А.С., Ефрюшин С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния объемно-блочных конструкций с учетом стадийности возведения // Строительная механика и конструкции. 2022. №3 (34). С. 99–114. DOI: 10.36622/VSTU.2022.34.3.008
20. Саражинский А.С., Ефрюшин С.В. Анализ расчетных моделей платформенных стыков при проектировании конструкций объемно-блочных зданий // Строительная механика и конструкции. 2022. №1 (32). С. 69–81. DOI: 10.36622/VSTU.2022.32.1.006
21. Тамов М.А., Тамов М.М., Усанов С.В., Табагуа Г.Р. Прочность и трещиностойкость объемного блока типа “колпак” без панели пола // Инженерный вестник Дона. 2015. №3. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3171>
22. Lago B.D., Volpe L., Papa E. Structural assessment of modular precast 3D cell mid- to high-rise buildings with different connections // Procedia Structural Integrity. 2023. Vol. 44. Pp. 1068–1075. DOI: 10.1016/j.prostr.2023.01.138

Информация об авторах

Ряжских Борис Евгеньевич, инженер-конструктор. E-mail: boris_ryazhskikh@mail.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84.

Поступила 12.09.2023 г.

© Ряжских Б.Е., 2023

Riazhsikh B.E.

Voronezh State Technical University

E-mail: boris_ryazhsikh@mail.ru

STATIC LOAD TESTING OF A VOLUMETRIC PRECAST REINFORCED CONCRETE MODULE OF A 17-STOUREY RESIDENTIAL MODULAR BUILDING

Abstract. The paper presents the results of static load tests of a volumetric precast reinforced concrete module of a 17-storey residential modular building. A brief overview of existing research on this topic is given. The main factors limiting the use of modular construction technology are identified. The procedure and stages of the test, as well as the design of the test facility are described in detail. Information about the sensors and other equipment used is provided, along with the description of the operation of the data logging system. The readings of linear position sensors for each loading stage are demonstrated, as well as the crack width at control loads. A qualitative and quantitative assessment of the strength, rigidity and crack resistance of the module is carried out. Based on the test results, it is found that the module satisfied all the requirements of building codes and other regulatory documentation. A subsequent increase in load shows that the load-bearing capacity of the module walls exceeded the required one at least 3.6 times. The test results demonstrate that there is a sufficient reserve of bearing capacity of modules, which opens up wide opportunities for the use of modular construction in high-rise buildings.

Keywords: precast concrete modules, prefabricated building, volumetric unit, precast reinforced concrete, prefabricated volumetric construction, 3D reinforced concrete structures, modular construction.

REFERENCES

1. Samsonova M.G., Semenova E.E. History and trends of development of volume-block housing construction in Russia and abroad [Istoriya i tendencii razvitiya ob'emno-blochnogo domostroeniya v Rossii i za rubezhom]. High technologies in construction complex. 2019. No. 2. Pp. 37–43. (rus)
2. Khubaev A.O., Saakyan S.S. The practice of application of volume-block building construction in Russia [Praktika primeneniya ob'emno-blochnogo domostroeniya v Rossii]. PNRPU Bulletin, Applied ecology. Urban development. 2020. No. 3 (39). Pp. 112–119. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.03.10 (rus)
3. Alizade S.A. Prefabricated modular construction: experience and development prospects [Ob'emno-blochnoe domostroenie: opyt i perspektivy razvitiya]. Architecture and design. 2017. No. 1. Pp. 38–52. DOI: 10.7256/2585-7789.2017.1.23079 (rus)
4. Teshev I.D., Korosteleva G.K., Popova M.A. Space block house prefabrication [Ob'emno-blochnoe domostroenie]. Zhilishchnoe Stroitel'stvo. 2016. No. 3. Pp. 26–33. (rus)
5. Goodier C.I., Pan W. The future of UK housebuilding. RICS research report. London: RICS, December 2010.
6. Pan W., Gibb A., Dainty A. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. Building research & information. 2008. Vol. 36 (1). Pp. 56–67. DOI: 10.1080/09613210701204013
7. Raines Court – Residential Projects – Allford Hall Monaghan Morris [electronic source]. URL: <https://www.ahmm.co.uk/projects/residential/raines-court/>
8. Apartment airlift in Belltown Crosscut [electronic source]. URL: <https://crosscut.com/2013/10/n-habit-stacks-49-prefab-units-belltown>
9. Monolithic volumetric precast. Hommission [electronic source]. URL: <http://www.hommission.com/pdf/E-Brochure.pdf>
10. Smith M.A., Schreffler D., Messenger H. Precast concrete modules speed school construction. PCI Journal. 2000. Vol. 45 (4). Pp. 36–42. DOI: 10.15554/pcij.07012000.36.42
11. Bertelsen S. Modularization – a third approach to making construction lean? 13th annual conference in the International Group for Lean Construction (July 2005). Sydney, 2005. Pp. 81–88.
12. Jadhav S., Kadam A., Dangat M., More S., Tanpure M. Analysing precast & modular construction with respect to design and cost. International Journal of Creative Research Thoughts. 2022. Vol. 10 (5). Pp. 644–649.
13. Jaillon L., Poon C.S. The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. Automation in Construction. 2009. Vol. 18. Pp. 239–248. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.09.002
14. Abdelmageed S.M., Abdelkhalek S., Zayed T. Benefits and Challenges of Modular Integrated Construction in Hong Kong: A Literature Review. The 8th International Conference on Construction Engineering and Project Management (7-8 December 2020). Hong Kong SAR, 2020.
15. Zhang X., Skitmore M., Peng Y. Exploring the challenges to industrialized residential building in China. Habitat International. 2014. Vol. 41. Pp. 176–184. DOI: 10.1016/j.habitatint.2013.08.005
16. Ar. Ravi Prakash Mishra. Review of prefabricated prefinished Volumetric Construction and its

application in India. International Journal of Research Publication and Reviews. 2022. Vol. 3. Pp. 568–573.

17. Gong T., Yang J., Hu H., Xu F. Construction technology of off-site precast concrete buildings. Frontiers of Engineering Management. 2015. Vol. 2 (2). Pp. 122–124. DOI: 10.15302/J-FEM-2015039

18. Pan W., Yang Y., Yang L. High-rise modular building: ten-year journey and future development. Construction Research Congress 2018 (2-4 April 2018). New Orleans: ASCE, 2018. Pp. 523-532. DOI: 10.1061/9780784481301.052

19. Sarazhinsky A.S., Efyushin S.V. Investigation of the stress-strain state of volumetric-block structures taking into account the stages of construction [Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ob'emno-blochnyh konstrukcij s uchetom stadijnosti vozvedeniya]. Structural mechanics and structures. 2022. No. 3 (34). Pp. 99–114. DOI: 10.36622/VSTU.2022.34.3.008 (rus)

20. Sarazhinsky A.S., Efyushin S.V. Analysis of calculation models of platform joints when designing industrialized construction with apartment modules [Analiz raschetnyh modelej platformennyh stykov pri proektirovanii konstrukcij ob'emno-blochnyh zdaniy]. Structural mechanics and structures. 2022. No. 1 (32). Pp. 69–81. DOI: 10.36622/VSTU.2022.32.1.006 (rus)

21. Tamov M.A., Tamov M.M., Usanov S.V., Tabagua G.R. Strength and cracking resistance of module type 'cap' with no floor slab [Prochnost i treshchinostojkost ob'emnogo bloka tipa "kolpak" bez paneli pola]. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. No. 3. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3171> (rus)

22. Lago B.D., Volpe L., Papa E. Structural assessment of modular precast 3D cell mid- to high-rise buildings with different connections. Procedia Structural Integrity. 2023. Vol. 44. Pp. 1068–1075. DOI: 10.1016/j.prostr.2023.01.138

Information about the authors

Riazhskikh, Boris E. Structural Engineer. E-mail: boris_ryazhskikh@mail.ru. Voronezh State Technical University. Russia, 394006, Voronezh, 20-letiya Oktyabrya st., 84.

Received 12.09.2023

Для цитирования:

Рязских Б.Е. Испытания статической нагрузкой объемного железобетонного блока 17-этажного объемно-блочного здания (ОБД) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 10. С. 20–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-20-34

For citation:

Riazhskikh B.E. Static load testing of a volumetric precast reinforced concrete module of a 17-storey residential modular building. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 10. Pp. 20–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-20-34