

Таблица 3. Показатели пористости образцов на напрягающем цементе

Номер серии	Wm , % по массе	ρ , кг/м ³	W_o , % по объему	λ	α	$D \times 10^{-8}$, см ² /с
Серия 4	3,9	2410	9,4	0,8	0,7	2,8
Серия 5	3,2	2430	7,8	0,8	0,65	1,3
Серия 6	2,85	2460	7,0	0,45	0,8	0,9

Перед испытаниями на морозостойкость определялись прочностные, деформационные характеристики и показатели пористости образцов, а также начальные деформации образцов.

Поведение образцов в процессе циклических испытаний оценивали по результатам ультразвуковых исследований и по изменению деформаций насыщенных и замороженных образцов. Через определенное количество циклов замораживания и оттаивания производили съем образцов с целью определения прочностных и деформационных показателей (коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге).

Результаты испытаний.

Результаты по определению коэффициентов интенсивности напряжений приведены на рисунке 1.

Значения, полученные в процессе циклических испытаний по определению скорости прохождения ультразвука, прочности на растяжение при изгибе и деформаций замороженных и насыщенных образцов, представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

Перед началом циклических испытаний определяли показатели пористости образцов на напрягающем цементе. Результаты приведены в таблице 3.

Как свидетельствуют данные, приведенные на рис. 1 и 2, коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге для этих серий образцов имеют различные значения, наблюдается определенная закономерность в изменении КИН. В отличие от образцов на обычном портландцементе значения коэффициентов интенсивности напряжений для напрягающего бетона закономерно уменьшаются на всем протяжении низкотемпературных испытаний.

УДК 624.012.4.35

Леонович С.Н., Аль-Факих Омар А.М.

ОЦЕНКА МОРОЗОСТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ОТРЫВЕ И ПОПЕРЕЧНОМ СДВИГЕ

Разрушение бетона при попеременном замораживании-оттаивании происходит не за одно мгновение, а подготовливается непрерывным образованием различных дефектов структуры, их развитием в длину и ширину до критических размеров. Пристальное внимание к проблеме эксплуатации бетона при знакопеременных температурных воздействиях наряду с действием нагрузки закономерно, поскольку обусловлено ведущей ролью данного материала в строительной отрасли. Морозостойкость бетона – это свойство материала сохранять свои физико-механические и эксплуатационные свойства при действии знакопеременных температур. Прогноз долговечности бетона связан с количественным анализом процесса разрушения, когда учитывается вклад технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов в

Это хорошо согласуется с результатами, полученными по определению изменения прочности на растяжение при изгибе образцов. При определении скорости распространения ультразвуковых колебаний для серии 6 было характерно увеличение данного показателя в течение первых 10 циклов испытаний, в последующем тенденция к снижению сохранилась. Отличие в результатах по определению изменения коэффициентов интенсивности и прочности на растяжения при изгибе от значений, полученных при определении скорости распространения ультразвуковых колебаний, может быть вызвано следующим. Показатели образцов, определенные разрушающими методами являются менее чувствительными к изменению структурных характеристик материала в процессе низкотемпературных испытаний. На величину коэффициентов интенсивности напряжений и прочность на растяжение при изгибе, могли оказать влияние внутренние напряжения в материале, развивающиеся в процессе низкотемпературных испытаний за счет продолжающейся гидратации цемента, поскольку бетоны на напрягающем цементе изначально обладают высокими внутренними напряжениями, связанными с процессами твердения материала на таком виде вяжущего.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Леонович С.Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения. – Минск: Тыздзень, 1999. -264с.
2. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости.

кинетику развития микро-, мезо- и макроповреждений в структуре материала.

Целью настоящей работы являлось исследование закономерностей сопротивления тяжелого бетона развитию микро-, а затем и макротрещин из структурных дефектов пор, капилляров и пустот, сформировавшихся на этапе изготовления композита, в результате последующих тепловлажностных воздействий. Исследования велись методами механики разрушения в связи теоретическими гипотезами о физической модели бетона [1].

Методика исследований. Виды бетонов.

Исследования проводили на трех составах бетона. Эти три состава (серия 1, 2 и 3) были изготовлены на обычном портландцементе ПЦ-500-Д20. Были подобраны обычные тяжелые

Таблица 1. Составы бетонных смесей

Номер состава	Расход составляющих, кг/м ³						ρ_b , кг/м ³	R , Мпа
	цемент	песок	щебень	вода	С-3	СНВ		
Серия 1	480	680	1100	180	-	-	2440	50,0
Серия 2	465	655	1160	165	3,72	-	2445	50,0
Серия 3	528	620	1100	195	-	0,3	2350	50,0

бетоны класса по прочности на сжатие В 40. Составы бетона подбирались таким образом, чтобы получить различные структурные характеристики материалов при одинаковых прочностных показателях. На характер поровой структуры цементного камня влияли путем ее модификации пластифицирующей добавкой С-3 и воздухововлекающей-СНВ. Бетонные смеси уплотняли вибрированием на лабораторной виброплощадке. Твердение образцов происходило в нормально-влажностных условиях при температуре 20°C и относительной влажности 95 %. Возраст образцов к моменту испытаний составлял не менее 28 суток. Составы бетонов, применяемых для изготовления образцов серий 1-3, приведены в таблице 1. *Экспериментальные образцы для проведения исследований.*

Для проведения исследований применяли образцы двух типов: тип А и тип В рисунок 1. Опытные образцы-кубы с ребром 150 мм (тип А) и образцы-пластины размером 150x150x75 мм (тип В) имеют по два надреза, которые являются инициаторами трещин.

Методика определения коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге.

Как отмечалось в работах [1, 2], коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) являются универсальными параметрами энергии разрушения наряду с вариантными параметрами прочности бетона. Для получения наиболее достоверных экспериментальных значений КИН необходима разработка корректных методик испытаний.

В настоящей работе используется методика неравновесных испытаний для оценки коэффициентов интенсивности напряжений. При исследовании коэффициентов интенсивности напряжений использовались два типа (тип А и тип В) образцов, представленных на рисунке 2. Испытания образцов типа А производилось по схеме внецентренного сжатия в прессе с помощью двух опор из металлических брусков с размером поперечного сечения 6x6 мм. Разрушение образцов происходило неустойчиво по плоскости движущейся трещины между двумя надрезами (рис. 1).



Рис. 1. Разрушение образцов при испытаниях на нормальный отрыв.

Для расчета коэффициента интенсивности напряжений при нормальном отрыве пользовались формулой, приведенной в ГОСТ 29167-91

$$K_{Ic} = P/B \sqrt{d} (18,3\lambda^{1/2} - 430\lambda^{3/2} + 344\lambda^{5/2} - 11076\lambda^{7/2} + 1296\lambda^{9/2}), \quad (1)$$

где P – нагрузка, соответствующая динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях; B и d – размеры образцов; λ – относительная длина начального надреза.

Для определения трещиностойкости бетона при поперечном сдвиге применяли образцы типа В в виде плиты с двумя параллельными надрезами, которые испытывали на срез с помощью опор из металлических прокладок. Для расчета критического коэффициента интенсивности напряжений при поперечном сдвиге воспользовались формулой, предложенной J. Watkins:

$$K_{2c} = 5 \cdot 11P \sqrt{\pi \cdot a} / 2B \cdot d, \quad (2)$$

где a – длина иницирующей трещины в образце.

Методика температурно-влажностных испытаний.

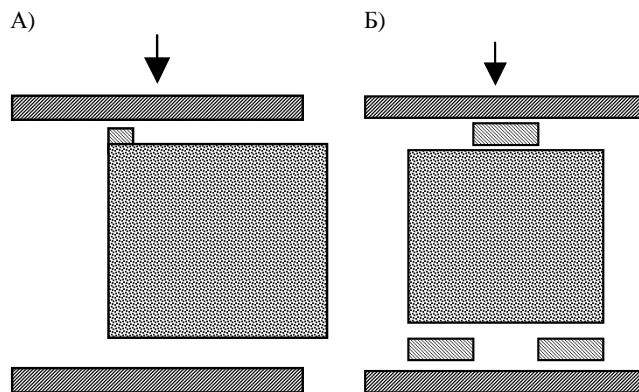


Рис. 2. Виды образцов.

А) на нормальный отрыв; Б) на поперечный сдвиг.

Испытания на стойкость при циклическом замораживании и оттаивании производили в термовлагокамере. Опытные образцы перед испытаниями в течение 96 часов насыщались водой. Замораживание производилось до достижения в центре образца температуры минус 50 С. Для определения температуры в образцах на различных этапах знакопеременных температурных испытаний были установлены хромель-копелевые термодатчики, показания с которых снимались автоматическим потенциометром КСП-4.

Для контроля морозной деструкции бетона в процессе испытаний применяли также неразрушающие методы, основанные на измерении скорости ультразвуковых колебаний и совпадении собственных колебаний образцов с колебаниями, возбуждаемыми генератором (резонансный метод).

Результаты исследований.

В процессе испытаний, через определенное количество циклов замораживания – оттаивания определяли коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге. Результаты испытаний представлены в виде графиков на рисунках 3 и 4.

Изменение прочностных показателей образцов, а также скорости распространения ультразвуковых колебаний и динамического модуля упругости приведены в таблице 2.

Перед началом циклических испытаний, а также в процессе их проведения определяли также показатели пористости образцов и изменение водопоглощения. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Экспериментальные исследования были нацелены на установление взаимосвязи между морозостойкостью (изменением основных физико-механических характеристик бетона) и коэффициентами интенсивности напряжений (КИН). На основе анализа полученных экспериментальных данных видно, что приведенные на рисунках 2 и 3, коэффициенты интенсивности напряжений при нормальном отрыве и поперечном сдвиге для трех серий образцов имеют различные значения, наблюдается определенная закономерность в изменении

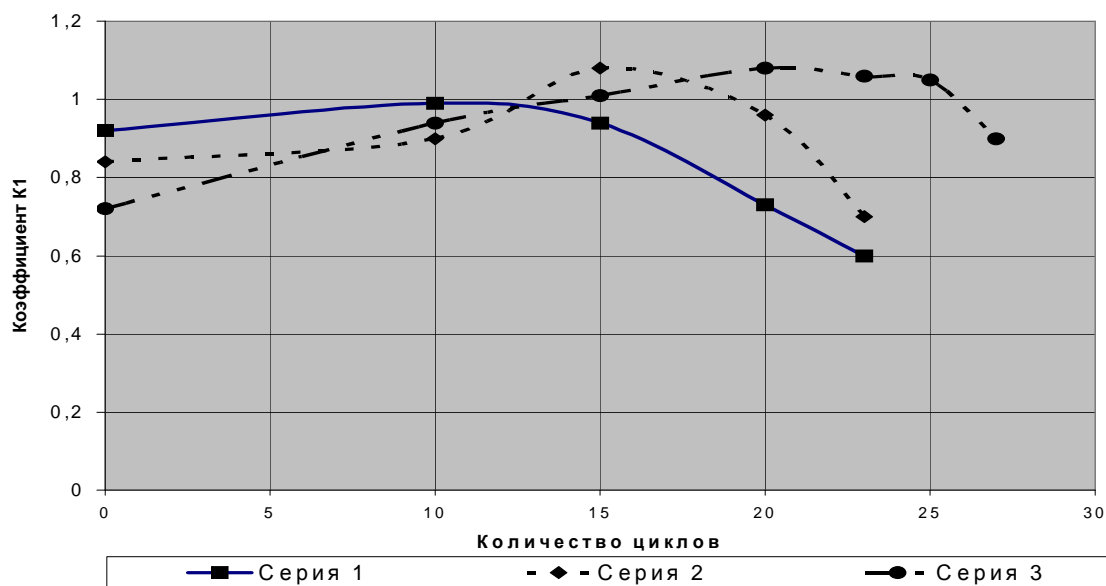


Рис. 3. Изменение коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве в процессе циклических испытаний.

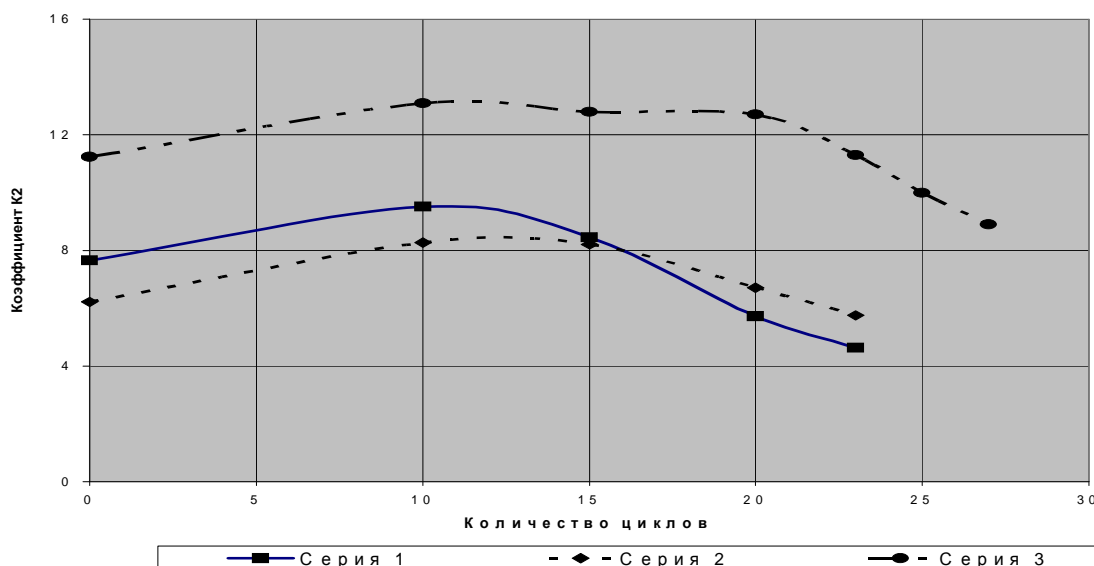


Рис. 4. Изменение коэффициентов интенсивности напряжений при поперечном сдвиге в процессе циклических испытаний.

Таблица 2. Изменение прочности на сжатие, скорости распространения ультразвуковых колебаний и динамического модуля упругости в процессе циклических испытаний

Кол-во циклов	Серия 1			Серия 2			Серия 3		
	<i>R</i> , %	<i>V</i> , %	<i>E_d</i> , %	<i>R</i> , %	<i>V</i> , %	<i>E_d</i> , %	<i>R</i> , %	<i>V</i> , %	<i>E_d</i> , %
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	104	96	101	105	104	100	110	106	113
10	109	95	104	111	104	101	121	107	117
15	93	88	95	111	105	101	118	105	113
20	78	80	88	110	105	106	106	105	113
25	68	73	72	108	104	103	104	103	113
30	55	66	60	98	101	99	95	100	110

КИН. В начале циклических низкотемпературных испытаний (10-20 циклов) значение коэффициентов интенсивности напряжений увеличивается, а затем их значение начинает уменьшаться, что свидетельствует о накоплении значительного количества дефектов в структуре материала. Так, например, для серии 1 (бетон без добавок) максимальная величина коэффициента интенсивности напряжений при нормальном

отрыве составляет 0,996 после 10 циклов замораживания-оттаивания, при начальной величине - 0,92. Максимальное значение коэффициентов интенсивности напряжений при определенном количестве циклов замораживания-оттаивания может служить критерием для оценки сопротивляемости структуры бетона циклам замораживания-оттаивания. Данные экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что

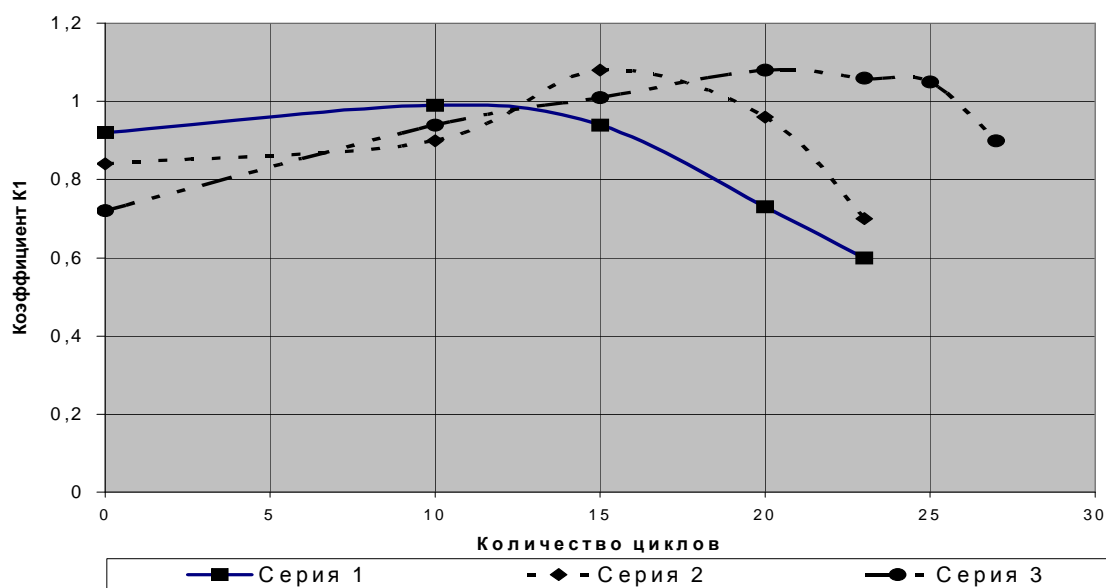


Рис. 3. Изменение коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве в процессе циклических испытаний.

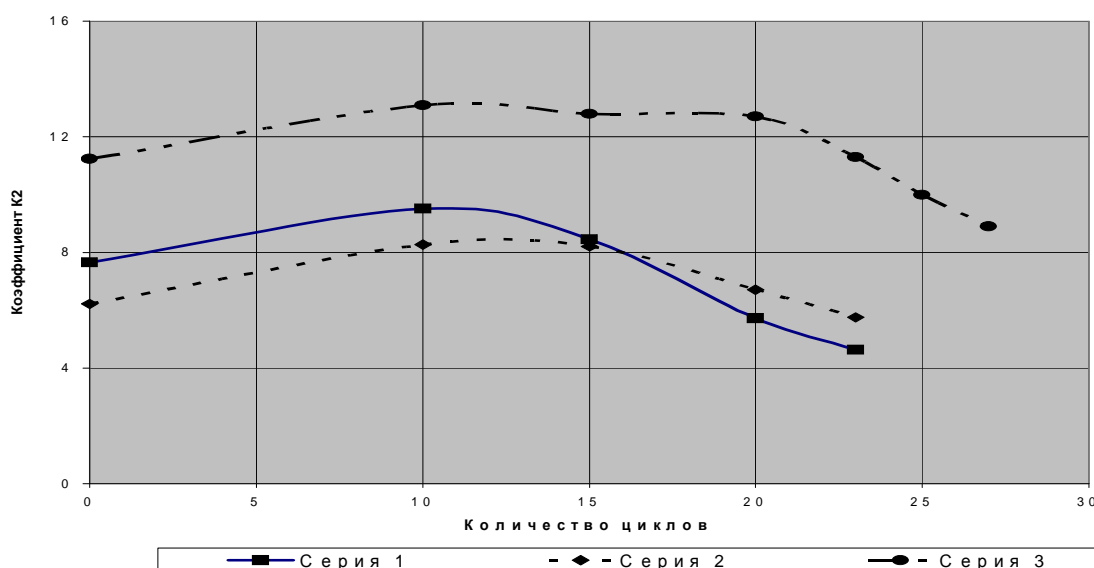


Рис. 4. Изменение коэффициентов интенсивности напряжений при поперечном сдвиге в процессе циклических испытаний.

Таблица 2. Изменение прочности на сжатие, скорости распространения ультразвуковых колебаний и динамического модуля упругости в процессе циклических испытаний

Кол-во циклов	Серия 1			Серия 2			Серия 3		
	R, %	V, %	E _d , %	R, %	V, %	E _d , %	R, %	V, %	E _d , %
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	104	96	101	105	104	100	110	106	113
10	109	95	104	111	104	101	121	107	117
15	93	88	95	111	105	101	118	105	113
20	78	80	88	110	105	106	106	105	113
25	68	73	72	108	104	103	104	103	113
30	55	66	60	98	101	99	95	100	110

КИН. В начале циклических низкотемпературных испытаний (10-20 циклов) значение коэффициентов интенсивности напряжений увеличивается, а затем их значение начинает уменьшаться, что свидетельствует о накоплении значительного количества дефектов в структуре материала. Так, например, для серии 1 (бетон без добавок) максимальная величина коэффициента интенсивности напряжений при нормальном

отрыве составляет 0,996 после 10 циклов замораживания-оттаивания, при начальной величине - 0,92. Максимальное значение коэффициентов интенсивности напряжений при определенном количестве циклов замораживания-оттаивания может служить критерием для оценки сопротивляемости структуры бетона циклам замораживания-оттаивания. Данные экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что

Таблица 3. Изменение водопоглощения и показатели пористости образцов

Кол-во циклов	Серия 1		Серия 2		Серия 3	
	$W_m, \%$	λ	$W_m, \%$	Λ	$W_m, \%$	λ
0	5,60	1,60	4,30	1,10	4,90	1,30
5	5,64	-	4,32	-	5,02	-
10	5,65	-	4,33	-	5,04	-
15	5,66	-	4,34	-	5,05	-
20	5,67	-	4,36	-	5,14	-
25	5,69	-	4,38	-	5,16	-
30	5,71	-	4,39	-	5,18	-

характер изменения коэффициентов интенсивности напряжений при нормальном отрыве (K_{1c}) и поперечном сдвиге (K_{2c}) при циклических испытаниях является тождественным, т.е. изменение величины K_{1c} (увеличение-уменьшение) ведет к изменению величины K_{2c} и наоборот.

Результаты по определению скорости распространения ультразвуковых колебаний, динамического модуля упругости и изменения водопоглощения в процессе циклических испытаний показали, что прочностные и структурные характеристики бетонов при испытании на термовлагодостойкость, находятся во взаимосвязи с характеристиками трещиностойкости бетонов, изготовленных на обычном протландцементе.

Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что наряду с общепринятыми критериями для оценки и прогнози-

рования морозостойкости бетонов по структурным и прочностным характеристикам материала, в качестве параметров, характеризующих энергетическое состояние материала, при циклических испытаниях, возможно использование коэффициентов интенсивности напряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гузев Е.А., Леонович С.Н., Пирадов К.А. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики. – Брест: БПИ, 1999. – 215 с.
2. Леонович С.Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения. – Минск.: Тыздзень, 1999. -264с.

УДК 624.94:69.057.122

**Мухин А.В., Зинкевич И.В.,
Драган В.И., Луговской М.А.**

МНОГОЭТАЖНОЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЕ СБОРНОМОЛИТНОЕ ЗДАНИЕ

Необходимость применения сталежелезобетонных сборномонолитных каркасных зданий определяется стесненными условиями при действующем производстве, требованиями ускоренного монтажа, повышенной огнестойкости конструкций, экономией строительных материалов, меньшей стоимостью по сравнению с цельнометаллическими каркасами. В предлагаемой конструкции здания на стадии монтажа каркас является цельнометаллическим, в процессе эксплуатации сталежелезобетонным. Перекрытия состоит из сборных желе-

зобетонных пустотных плит, монолитных вставок с жесткой и гибкой арматурой. Ригели на стадии эксплуатации – сборномонолитные. Предлагаемое конструктивное решение позволяет также включить в совместную работу с ригелями пустотные железобетонные плиты перекрытий. Рассматриваемое здание запроектировано как лабораторно-складской корпус ОАО «Брестгазоаппарат» и примыкает длинной стороной к корпусу №1 (рис. 1).



Рис.1. Общий вид здания.