

УДК 692.231.2

## РАЗРАБОТКА СТЕНОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

*Р. С. Федюк, Ю. С. Жередиц*

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

Выявлены недостатки современных конструкций монолитных стен с несъемной опалубкой из пенополистирола. Произведена разработка усовершенствованной конструкции, которая способна стать одним из вариантов для возведения социального жилья. Проведенный прочностной расчет показал, что при необходимом армировании данная конструкция может применяться для малоэтажного строительства (здания до 5 этажей включительно).

**Ключевые слова:** опалубка, пенополистирол, монолитная стена, стирол, фибробетон.

The paper focuses on shortcomings of contemporary design for monolithic walls with permanent formwork made of polystyrene foam. The authors have developed an improved structure that can be considered as an option for construction of social housing. The presented strength calculation showed that such a structure can be applied for low-rise buildings (up to 5 floors inclusive) in case of any reinforcement be needed.

**Key words:** formwork polystyrene, solid wall, styrene, fibrous concrete.

Одним из вариантов решения государственно важной задачи по обеспечению граждан быстровозводимым и недорогим социальным жильем может стать возведение зданий с монолитными стенами в несъемной опалубке (которая остается в качестве утеплителя). В данном случае применение западных технологий научно не обосновано для российских климатических условий (особенно для влажного и холодного климата Дальнего Востока и Сибири).

Авторами был проведен анализ недостатков стеновых конструкций с опалубкой из вспененного полистирола (далее – МСсППС); недостатки сведены в схему (рис. 1).

Результатом преодоления этих негативных качеств явилось создание нижеописанной опалубки (рис. 2). За исходный вариант был взят блок МС1 системы «Изодом-2000». Один

из слоев ППС заменили на пластину из цементного фибролита (толщиной 25 мм, плотностью 350 кг/м<sup>3</sup>). В результате этой замены был устранен ряд недостатков: ликвидирован контакт токсичного материала (пенополистирола) с внутренним объемом здания, а также стало значительно проще выполнять крепежные и отделочные мероприятия.

Согласно [7], переплетение лентообразных частиц древесной шерсти, связанных и покрытых тонким слоем минерального вяжущего, создает открытую, сильно развитую пористую структуру, что делает фибролит хорошим звукопоглощающим материалом. Однако, принимая во внимание, что теплозащитные качества фибролита немного хуже, чем у ППС, оставшийся слой пенополистирола делаем 120 мм.

Утеплитель снаружи защищаем слоем сульфатостойкого бетона толщиной 50 мм.

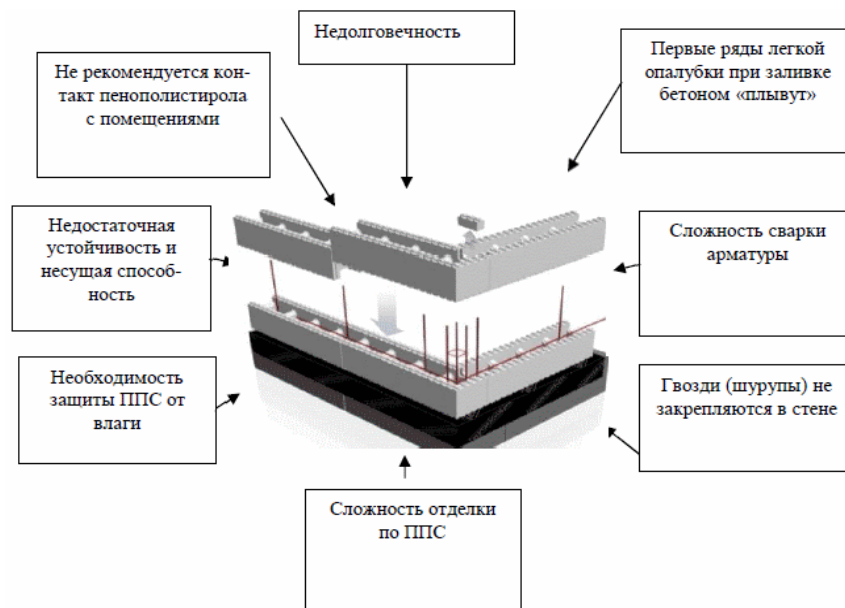


Рис. 1. Недостатки современных конструкций МСсППС

Свойства сульфатостойкого (судоостроительного) бетона достаточно широко изучены (например, [6, 12, 13]). В результате достигаются следующие преимущества:

- судоостроительный бетон герметично защищает пенополистирол от воздействия атмосферных осадков, солнечных лучей;
- повышается жесткость опалубки при заливке в нее бетона, нижние ряды не деформируются;
- упрощается выполнение отделочных работ.

Жесткие слои опалубки соединяются стеклопластиковыми стержнями, это позволяет сделать менее трудоемким монтаж арматуры в стене, а также препятствует возникновению «мостиков холода». Арматура заводится в судоостроительный бетон в заводских условиях

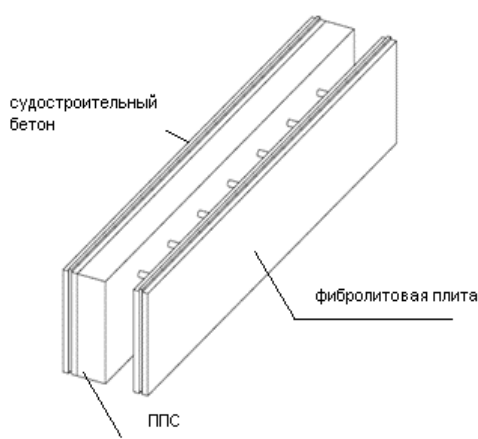


Рис. 2. Предлагаемая опалубка

Также был проведен расчет прочностных характеристик разработанной конструкции. Деформации бетона при расчете конструкций в настоящее время рассчитываются с применением теорий ползучести бетона, которые исторически развивались в трех направлениях: теория упруго-ползучего тела, теория упругой наследственности бетона и теория старения (модифицированная теория старения) бетона. В то же время ни одна из этих теорий не способна дать точного описания процесса деформирования железобетонных конструкций под длительной нагрузкой [5], так как при расчетах мгновенные деформации бетона считают пропорциональными напряжениям вплоть до достижения предела прочности (закон Гука) [1–4 и др.]. Данное положение внедрено в российские действующие нормы по железобетону.

В то же время современная нормативная база по расчету железобетонных конструкций не готова к применению вероятностных методов (более точных) в практике проектирования, в основном из-за недостаточного количества экспериментальных данных по статистической

за счет утолщения на конце стержня. Аналогично производится заделка в фибролит.

В качестве утеплителя применен экструзионный пенополистирол, этим почти в два раза увеличивается эксплуатационный ресурс утеплителя, а следовательно, и всей стены [11].

Представляет интерес узел опирания плит перекрытия на несущие стены. Для сохранения однородности слоистой конструкции стены в месте опирания плиты был разработан специальный блок опалубки с удлиненным защитным слоем (из судоостроительного бетона). Соответственно между этим слоем и стеной дополнительно укладывается доборный фрагмент экструзионного пенополистирола размером 120x250x1000 мм (рис. 3).

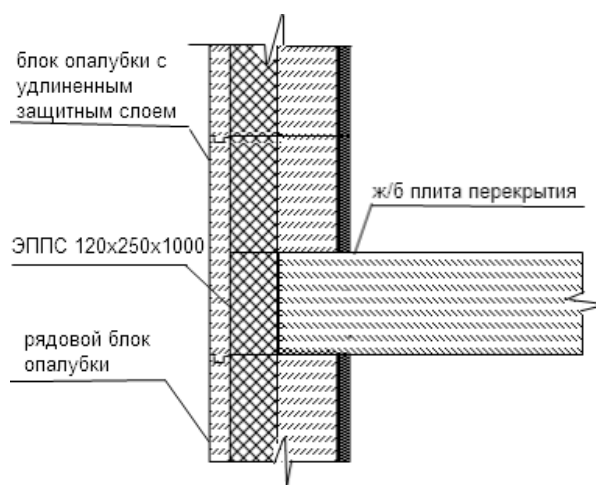


Рис. 3. Опирание перекрытия на стеновую конструкцию

изменчивости расчетных параметров. Поэтому на практике для железобетонных конструкций применяют метод расчета по предельным состояниям, который основан на полуметодном подходе [8–10].

Для проверки прочностных характеристик разработанной стеновой конструкции были проведены теоретические расчеты по предельным состояниям первой группы.

Учитывая большую ветровую нагрузку, которая воздействует на вертикальные ограждения в климате юга Дальнего Востока, необходимо было оценить степень ее влияния на полную расчетную нагрузку на стену.

В ходе многолетних исследований, проведенных авторами совместно с кафедрой конструирования зданий и сооружений (с 2012 г. – кафедра гидротехники, теории зданий и сооружений) Дальневосточного федерального университета, выявлены отклонения фактических значений ветрового давления  $\omega_0$  от нормативных значений. В частности, если по строительным нормам и правилам Приморский край отнесен к III ветровому району ( $\omega_0 = 0,38 \text{ кПа}$ ), то для прибрежной полосы (Владивосток, Находка и т. д.)

этот показатель не соответствует действительности. Это подтверждают расчетные данные:  $\omega_0 = 0,0061v^2 = 0,49$  кПа (для Владивостока, средняя скорость ветра в январе 9 м/с), что на 22 % отличается от нормативного значения. Таким образом, в случае использования нормативных значений ветровых параметров для прибрежного района юга Дальнего Востока для сбора ветровых нагрузок необходимо применять коэффициент 1,22.

Расчет по прочности монолитной стены был произведен из условия, по которому усилия, напряжения и деформации от различных воздействий с учетом начального преднапряженного состояния не должны превышать соответствующих значений, установленных нормами.

Был проведен расчет стены пятиэтажного здания. Для здания с размерами по осям 36x24 м грузовая площадь равна 452 м<sup>2</sup>.

Полная и длительная нагрузка на стены первого этажа равна:

$$N = 1825 \text{ кН}; N_l = 1548 \text{ кН},$$

Расчет по прочности прямоугольных сечений внецентренно сжатых элементов произведен из условия

$$Ne \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h - a'),$$

где  $e$  – эксцентриситет, равный

$$e \leq e_0 \eta \frac{(h - a')}{2},$$

здесь  $\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба (прогиба) элемента на его несущую способность;  $x$  – высота сжатой зоны

$$x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b}$$

Получаем  $e = 13,2$  мм, что позволяет производить расчет конструкций по недеформированной схеме, учитывая влияние прогиба элемента на его прочность. Соответственно, допускается расчет колонны как условно центрально сжатой. Площадь продольной арматуры определяется следующим образом:

$$A_{s,tot} = (A_s + A'_s) = \frac{N}{\varphi \eta R_{sc}} - A \frac{R_b}{R_{sc}'}$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий размеры сечения;  $\eta = 1,0$ ;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба на прочность сжатых элементов со случайным эксцентриситетом, равный:

$$\varphi = \varphi_b + 2 (\varphi_r - \varphi_b) a \leq \varphi_r,$$

$\varphi_b, \varphi_r$  – коэффициенты, принимаемые по таблицам:  $\varphi_b = 0,905$ ,  $\varphi_r = 0,910$ ;  $a$  – коэффициент, равный при принимаемом коэффициенте армирования поперечного сечения колонны  $\mu = 0,005$ :

$$a = \mu R_{sc} / R_b = 0,005 \cdot 365 / 13,05 = 0,139;$$

$$\varphi = 0,905 + 2 \cdot (0,910 - 0,905) \cdot 0,139 = 0,906 < \varphi_r = 0,910.$$

Таким образом, установлено, что данная конструкция удовлетворяет условиям по прочности для малоэтажных зданий. Армирование выбрано:

- продольное (стальная арматура диаметром 10 мм);
- поперечное (стеклопластиковая арматура диаметром 5 мм) – конструктивно входит в состав несъемной опалубки.

Проведенный прочностной расчет показал, что при необходимом армировании данная конструкция может применяться для малоэтажного строительства (здания до 5 этажей включительно).

Дальнейшее направление исследований может быть связано с вопросом обеспечения экологической безопасности пенополистирола в представленной конструкции. Не секрет, что ППС является экологически опасным материалом, и целый ряд ученых выступает за тотальное запрещение его в строительстве в любом виде.

Наиболее вредное действие из всех химикатов, входящих в состав этого вспененного полимера, оказывает стирол, который испаряется практически постоянно при любых внешних условиях. Стирол является очень токсичным веществом, оказывающим влияние на человека.

Другим перспективным вариантом развития данной конструкции является замена арматуры в монолите бетона на дисперсное армирование.

Фибробетон выделяется в самостоятельную группу конструкционных материалов и обладает уникальными эксплуатационными качествами. По-другому его называют дисперсно-армированный бетон – это такая разновидность бетона, в которой вместо арматуры присутствуют мелкие волокна из различных материалов (из стали, синтетики или стекла). Так бетонная конструкция получает усиление, которое придает замечательные свойства фибробетону.

Армирование фибробетона дисперсными волокнами позволяет добиться более высокой ударной прочности, прочности на срез и при растяжении, воздухопроницаемости, морозостойкости, пожаростойкости (рис. 4).



Рис. 4. Преимущества сталефибробетона



Металлические волокна (рис. 5) – это проволока различных диаметров (от 0,1 до 0,5 мм), которая порезана на куски длиной 1–50 см. Самый хороший прочностной эффект достигается при использовании волокон диаметром 0,3 мм и длиной 25 мм. Если не соблюдается технология дисперсного армирования



Рис. 5. Стальная фибра

(увеличиваются или уменьшаются указанные выше характеристики), то прочность бетона снижается.

При изготовлении фибры не из металлических волокон используется целый ряд различных материалов, которые подробно рассмотрены ниже.



Рис. 6. Стекланные волокна

Стекланным волокнам (рис. 6) присущи гораздо более высокие прочностные характеристики при растяжении и деформационных воздействиях, чем цементному камню. Эти фибры в основном диаметром около 10 мкм и длиной до 40 мм. А вот коэффициент расширения у стекла и у цементного камня приблизительно одинаковый. Однако необходимо предусмотреть отдельные мероприятия по защите стеклальной фибры за счет выбора оптимального состава вяжущих материалов. Это позволит защитить стекловолотно от действия щелочи, которая входит в состав цемента. Кроме того, необходимо выполнить защиту бетона от коррозионных разрушений: это достигается посредством применения различных добавок (например, глиноземистого цемента).

Асбестовая фибра (рис. 7) тоже часто применяется в ходе армирования цементных конструкций, производимых на заводе. Данные изделия (асбестоцемент) обладают хорошими качествами огнеупорности, прочности, способны противостоять щелочи и могут выполнять свои

функции длительное время без потери качества.

В целях выполнения армирования не таких упругих материалов (например, ячеистые, гипсовые бетоны) применяются полимерные волокна (рис. 8). Эти конструкции обладают более низким модулем Юнга, в отличие от конструкций из цементного камня.

Технологический процесс производства дисперсно-армированного бетона имеет сходные свойства с изготовлением других бетонов. В этот процесс также входят этапы по подготовке исходных материалов и их дальнейшему смешиванию. Но присутствуют и определенные отличия, которые связаны с формированием смеси. Фибробетон предварительно армирован, поэтому увеличиваются и прочностные характеристики произведенных с его участием изделий и конструкций, а также значительно снижается расход арматуры (до 20 %), соответственно уменьшаются такие важные технико-экономические показатели, как стоимость, трудоемкость и время производства работ.



Рис. 7. Асбестовая фибра



Рис. 8. Полимерная фибра



Технологический процесс с применением дисперсно-армированного бетона предусматривает производство изделий разных классов. Наиболее применимыми в строительстве являются В20, В22,5 и В25. Параметры прочности, которые определяют класс фибробетона, зависят от процентного содержания в нем цемента (причем не только портландцемента, но и других видов) и волокон, а кроме того, от материала фибры. Самую большую прочность готовой конструкции обеспечивают волокна из стекла, а также из стали мелкой фракции. Наиболее же часто применяются в строительстве синтетические волокна, что позволяет снизить стоимость

производственного процесса и дает возможность иметь на выходе дисперсно-армированный бетон со средними прочностными характеристиками.

Наконец, главное внимание при производстве фибробетона необходимо уделять приготовлению исходных материалов. В частности, количество волокон, в зависимости от их разновидности и требований, предъявляемых к конечной продукции, должно составлять от 0,3 до 25 кг на 1 кубометр. Причем в основном этот расход обычно составляет от 0,3 до 1,5 кг. Этот факт свидетельствует о важности использования только высококачественного исходного сырья.

#### Список литературы

1. Васильев П. И. К вопросу выбора феноменологической теории ползучести бетона // Ползучесть строительных материалов и конструкций / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко ; под ред. А. Р. Ржаницына. М., 1964. С. 106–114.
2. Васильев П. И. Некоторые вопросы пластических деформаций бетона // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. М. ; Л., 1953. Т. 49. С. 83–113.
3. Васильев П. И. Нелинейные деформации ползучести бетона // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Л., 1971. Т. 95. С. 59–69.
4. Васильев П. И. Связь между напряжениями и деформациями в бетоне при сжатии с учетом влияния времени // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Л. ; М., 1951. Т. 45. С. 78–92.
5. Крылов С. Б., Гончаров Е. Е. Использование реологических моделей при моделировании ползучести бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 32–33.
6. Малявина Е. Г. Теплотери здания. М. : АВОК-пресс, 2007. 235 с.
7. Производственно-строительная компания «Неомир» [Официальный сайт]. URL: <http://neomir.ru/nesyomnaya-orulubka/tehnologiya-stroitelstva> (дата обращения: 20.09.2014).
8. Пухонто Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) : монография. М. : Изд-во АСВ, 2004. 424 с.
9. Райзер В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. М. : Стройиздат, 1995. 348 с.
10. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании : монография. М. : АСВ, 1998. 304 с.
11. Федюк Р. С. Долговечность различных марок строительного пенополистирола // Вестник КузГТУ. 2013. № 5. С. 143–148.
12. Gausepohl H., Gellert R. Polystyrol // Kunststoff Handbuch 4. Hauser. 1996. S. 563–715.
13. Kunzel H. M., Kunzel H., Sedelbauer K. Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Warmedamm-Verbundsystemen // Bauphysic. 2006. Vol. 28. Is. 3. S. 45–68.

© Р. С. Федюк, Ю. С. Жередиц