



В. П. ВЫЛЕГЖАНИН
К.т.н., директор
Центра ячеистых бетонов

В. А. ПИНСКЕР
К.т.н., научный руководитель
Центра ячеистых бетонов

А. А. ШУХАРДИН
Генеральный директор
ООО «Андромета»

А. Б. АНОПЯН
Технический директор
ООО «Андромета»

Часть I

ПЕНОБЕТОННЫЕ ДОМА

Применение
легкометаллического
каркаса

2

Ячеистый бетон является одним из наиболее перспективных материалов XXI века, производство которого в РФ растёт с каждым годом. Он характеризуется экономичностью, долговечностью, огнестойкостью, экологичностью и теплоизоляцией на уровне эффективных теплоизоляционных материалов, но без их недостатков (токсичности, горючести, сминаемости, рассыпаемости, гигроскопичности, окислительной деструкции).

Более 15 лет тому назад были спроектированы, испытаны на фрагментах и построены жилые дома коттеджного типа из монолитного пенобетона в опалубке из сборного тяжёлого пенобетона (поризованного бетона). Монолитный пенобетон имел марку по плотности D400–D500, класс по прочности на сжатие B1–B1,5. Несъёмная опалубка из плит размером 600 × 300 × 40 имела показатели D1000–D1200, B3,5–B5. Будучи скреплена монолитным пенобетоном, она выполняет несущие функции. Стены толщиной 40 см имеют сопротивление теплопередаче более 3 Вт · кг/м², что удовлетворяет требованиям теплозащиты для Санкт-Петербурга и Москвы. Стоимость 1 м² стены составила 30 USD, а 1 м² общей площади домов — 200 USD (с внешними сетями и благоустройством) по состоянию

на 1999 г. Эти дома показали хорошие эксплуатационные свойства [1, 2].

В настоящее время марка по плотности монолитного пенобетона снижена до D200, и стены могут быть вдвое тоньше при той же теплозащите. При повышении этажности жилых домов несущей способности несъёмной опалубки становится недостаточно. В этом случае её могут заменить каркас и листовые материалы (ЦСП, гидрофобные ГВП, сайдинг, асбоцемент, водостойкая фанера и т. д.). В качестве несущего элемента (каркаса) могут быть гибкая или жёсткая арматура, железобетонные линейные элементы, импрегнированная древесина, бамбук, широко применяемый на Востоке.

Одним из вариантов жёсткой арматуры являются лёгкие металлические конструкции (ЛМК), собираемые из тонкостенных холодногнутых профилей, изготовленных из листового оцинкованного листа толщиной от 0,5 до 3 мм. Недостаток таких сооружений — малые долговечность и огнестойкость, неустойчивость местная (сминаемость) и общая, отсутствие тепло- и звукозащиты.

Применение же ЛМК в качестве несущего каркаса стен, перекрытий, покрытий в монолитном пенобетоне позволяет решить следующие проблемы: теплозащита, долговечность

(коррозионная стойкость), пожаростойкость, распорность (устойчивость местная и общая), звукоизоляция, сейсмостойкость, энергоэффективность, экологичность, экономичность.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЛМК В ПЕНОБЕТОНЕ

Жилые, общественные и производственные здания, построенные из ЛМК в пенобетоне, должны иметь обеспечение по долговечности конструкций в обычных условиях эксплуатации, согласно ГОСТ Р54257-2010, не менее 50 лет. Поэтому вопросу долговечности следует уделить особое внимание.

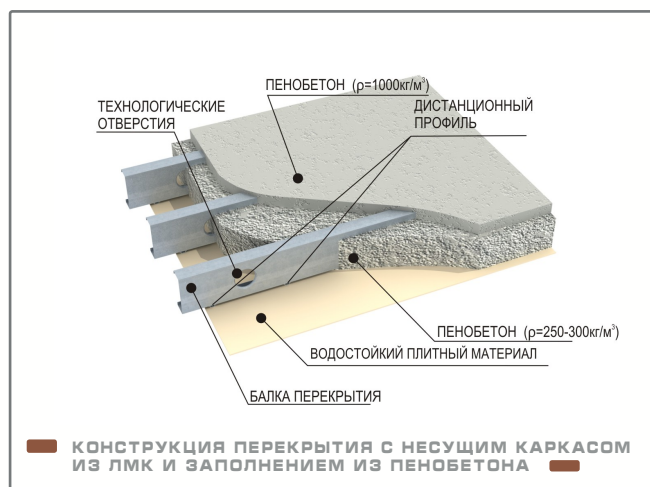
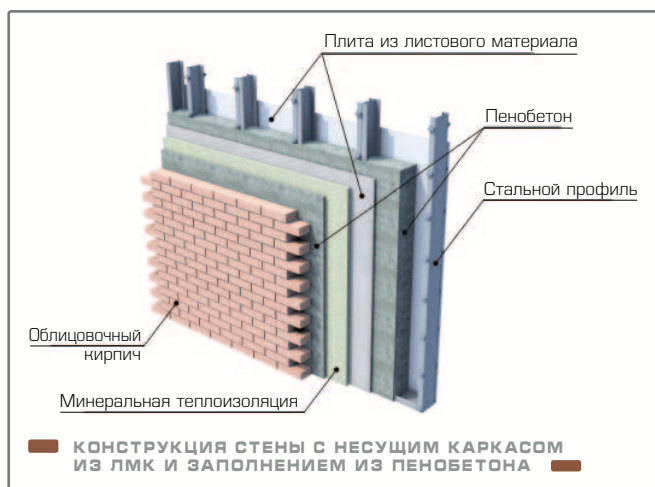
Долговечность ЛМК в таких конструкциях определяется стойкостью к коррозии оцинкованной стали в пенобетоне, которая зависит от химических и электрохимических процессов, происходящих на границе контакта цинкового покрытия и пенобетона, а также от технологии изготовления и условий эксплуатации конструкции.

Долговечность ЛМК с антикоррозионным цинковым покрытием в пенобетоне определяется следующими процессами.

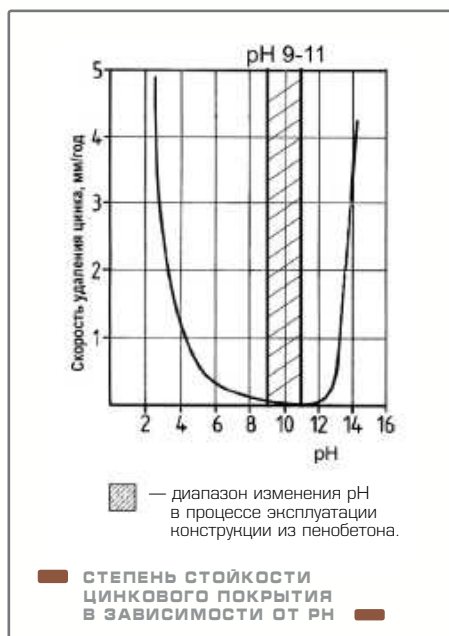
1. Цинковое покрытие кислородо- и водонепроницаемо, что предотвращает влияние на электрохимическую коррозию неоднородности состава стали и характера её обработки. Кроме того, цинк, обладая большим электрическим потенциалом и защищая сталь, выступает в этом случае катодом, и этот вид защиты называется катодным. Энергия выхода электрона из цинка составляет 4,22–4,27 эВ, а из железа — 4,71 эВ. Это указывает на большое количество электронов, которые выделяются и взаимодействуют с оксидантами, обеспечивая тем самым электронную защиту стали и спасая её от коррозии.



МОНТАЖ МЕТАЛЛОКАРКАСА 4-ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА
п/н «Гармония», Нальчинская обл., 2013 г.



2. В пенобетоне изменяется рН (щёлочность), начиная с момента его укладки и во время дальнейшей эксплуатации конструкции. В свежесложенном пенобетоне, изготовленном на портландцементе, величина $\text{pH} > 12$, что соответствует щелочной среде, и в процессе схватывания рН быстро снижается и в дальнейшем в процессе эксплуатации величина рН колеблется в пределах 9,5–11. Известно, что цинковое покрытие устойчиво к коррозии в щелочной среде при изменении рН в этом диапазоне. Его термодинамическая неустойчивость прекращается при $\text{pH} < 12$. При снижении $\text{pH} < 11$ он становится термодинамически устойчив, т. к. химические реакции приводят к образованию малорастворимых комплексов $[\text{Zn}(\text{OH})_3]\text{Na}$, $\text{Ca}[\text{Zn}(\text{OH})_3]_2$ [3, 4, 5]. Степень стойкости цинкового покрытия в зависимости от рН хорошо демонстрируется диаграммой. [6].



Из диаграммы следует, что при $\text{pH} 9-11$ разрушение цинкового покрытия близко к малым величинам, которые можно принять равным 0,1–0,3 мкм/год. Это подтверждается исследованиями скорости коррозии в атмосфере Москвы в конструкциях из ячеистого бетона, армированных оцинкованной горячим способом арматурой при толщине защитного слоя 15 мм с раскрытием трещин 0,2–0,5 мм. Скорость коррозии в такой арматуре в конструкции с трещинами составила 0–0,5 мкм/год (в среднем 0,2–0,3 мкм/год) [7].

3. Влажность пенобетона в процессе эксплуатации здания убывает. Наиболее интенсивно коррозия протекает при влажности бетона 30 % по массе. В меньшей степени арматура корродирует при влажности бетона 40 % по массе. В этом случае ввиду избытка воды в порах бетона затруднен доступ кислорода воздуха к металлу. Ещё более замедляется коррозия при влажности бетона 5–10 % по массе. В этом случае причиной замедления коррозии является недостаточная влажность. При влажности ячеистого бетона 5 % по объёму (10 % по массе для бетона плотностью 500 кг/м³) коррозия арматуры после начальной фазы стабилизируется к 6-месячному сроку и в дальнейшем не развивается, т. к. прекращается электрохимический процесс из-за структурирования воды.

Следовательно, вторым мероприятием, предупреждающим развитие коррозии арматуры, является такая защита фасадной поверхности панелей, которая предотвратит увлажнение бетона в зоне, окружающей металл, сверх указанных величин. Такая

защита может достигаться при использовании отделок, имеющих повышенную водонепроницаемость. Предел допустимого увеличения влажности бетона в зоне, окружающей арматуру, — 5 % — по объёму регламентирован нормами СН 277-80 [9]. Он установлен по результатам опытов с ячеистыми бетонами на основе песка. Абсолютная удельная поверхность этих бетонов такова, что при влажности менее 5–8 % по объёму большая часть влаги распределена по поверхности твёрдой фазы полимолекулярным слоем, подвижность молекул воды в котором ограничена и обычное протекание процессов электрохимической коррозии затруднено. С изменением абсолютной удельной поверхности должна изменяться и влажность бетона, при которой коррозия не развивается. В зависимости от вида сырья и технологии производства ячеистые бетоны могут иметь различную удельную поверхность и различное содержание влаги в полимолекулярных слоях при одинаковом общем уровне влажности, и наоборот, одинаковой толщине полимолекулярных слоёв воды бетонов с различной удельной поверхностью будет соответствовать разный уровень влажности.

4. Величина защитного слоя ЛМК из пенобетона должна быть в армированных ячеистобетонных конструкциях, согласно ГОСТ 11118–2010, не менее 25 мм. В наружных стенах из ЛМК, пенобетона и ЦСП он составляет 32 мм (12 мм ЦСП + 20 мм пенобетона).

Стена из пенобетона и ЛМК выполнена в несъёмной опалубке из водостойкой ЦСП



[1] Вылегжанин В. П., Пинскер В. А. Стены в XXI веке: какими им быть? // Еврострой, 1999. № 12.

[2] Вылегжанин В. П., Пинскер В. А. Стены здания в несъемной опалубке из теплоизоляционного бетона // Сб. докладов Международной научно-практической конференции «Ячеистые бетоны в современном строительстве», СПб, 2004.

[3] Алексеев С. Н., Стругова Ю. Н. Поведение цинка в твердеющем бетоне на портландцементе // Защита металлов. Т. VII. 1971. № 6. С. 421–424.

[4] Cook H. A. Coating treatment for reinforcing steel. Concrete 11 (1977) 1. Pp. 31–33.

[5] Bird C. E. The influence of minor constituents in portlandcement on the behaviour of galvanized steel in concrete. Corrosion Prevention and Control. 1964. July. Pp. 17–21.

[6] Kreysa G., Schutze M. Corrosion Handbook — Corrosive Agents and their Interaction with Materials, Volume 1–13, 2nd Edition, Wiley-VCH-Verlag Weinheim, 2009.

[7] Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. — М.: Стройиздат, 1990.

[8] Холопова Л. И. Коррозия арматуры в автоклавных ячеистых бетонах и способы её предупреждения. Ленинград: Стройиздат, 1965.

[9] СН 277-80 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. — М.: Стройиздат, 1981.

толщиной 12 мм. Этот плотный (до 1000 кг/м³) листовой материал с наружной и внутренней стороны стены не имеет трещин,

что обеспечивает защиту от свободного проникновения атмосферных осадков внутрь стены. Трещины с наружной и внутренней стороны отсутствуют.

На фрагменте конструкции стены с ЛМК в пенобетоне D300 и ЦСП исследовался процесс высыхания пенобетона. Определялась влажность пенобетона по ГОСТу в изъятых из фрагмента образцах.

Влажность пенобетона в течение 3 месяцев с начала заливки достигла 40 %, через 6 месяцев — 15 %. Далее пенобетон в стене здания в процессе его эксплуатации высыхает в течение 1–1,5 лет и достигает равновесной влажности 5–8 %. В дальнейшем она может снизиться до 4 %.

Из приведённых выше условий эксплуатации ЛМК в пенобетоне с ЦСП при низкой влажности и в щелочной среде следует, что пенобетон и ЦСП являются дополнительной защитой ЛМК от коррозии.

У ЛМК цинковое покрытие классом 275 имеет толщину 20 мкм (ГОСТ Р 52246-2004). При средней величине его коррозии 0,25 мкм/год

долговечность ЛМК, исходя только из стойкости антикоррозионной цинковой защиты с учётом отсутствия трещин, будет не менее 80 лет. Поскольку низкоуглеродистая сталь, применяемая для изготовления ЛМК, в щелочной пенобетонной среде обладает хорошей коррозионной устойчивостью, это дополнительно увеличивает срок эксплуатации таких конструкций [8]. Срок службы жилых и общественных зданий определён ГОСТ Р 54257-2010 не менее 50 лет.

В дополнение отметим, что сцепление горячеоцинкованных стальных элементов с бетоном на 5–10 % выше, чем неоцинкованных. Следовательно, можно считать, что оцинкованное покрытие не снижает сцепление стальных профилей с пенобетоном.

Из всех видов антикоррозионной защиты железа (меднение, хромирование, никелирование, полуда, эмалирование, хонингование и пр.) оцинковка для пенобетона является наилучшей, т. к. обеспечивает: механическую защиту от оксидантов, высокую адгезию к пенобетону, катодную защиту железа благодаря избыточным электронам цинка, хорошее сцепление цинка с железом. ●

22 ФЕВРАЛЯ НОВОСИБИРСК
29 МАРТА ЕКАТЕРИНБУРГ
26 АПРЕЛЯ КАЗАНЬ
24 МАЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
6 СЕНТЯБРЯ КРАСНОДАР
20 СЕНТЯБРЯ МОСКВА
25 ОКТЯБРЯ РОСТОВ-НА-ДОНУ

2013
ГЕНД

ПРОЕКТИРОВЩИКА



www.denproekt.ru