

| Метод визначення ЦМР                             | Критерій $E$ (%), визначений   |                  | СКП (м) |
|--|--------------------------------|------------------|---------|
|  | за допомогою програми Criterij | у системі Surfer |         |
| TIN  | 1,686                          | 1,645            | 0,46    |
| Крайгинга (варіаграмна модель «Кубічні сплайни») | 1,347                          | 1,326            | 1,35    |

Як і передбачалося, величина критерію, визначена в системі Surfer, виявилася менше на 0,2-0,4 (%) тієї ж величини, визначеної за програмою Criterij, що пов'язано з примусовим обнулінням значень функції  $|u_0|$  в точках межі області. СКП ЦМР, розрахованої методом Крайгинга на порядок вище СКП ЦМР, визначеної по методу TIN. Проте, якщо врахувати, що максимально допустима СКП для ЦМР з висотою перетину рельєфу 5 м рівна 2,08 м [6, с. 3], метод Крайгинга можна вважати більш переважним.

**Висновки.** Якщо для вибору оптимальної ЦМР, не зупинятися на одному TIN-методі, а використовувати всі можливі варіанти, запропоновані системою Surfer, програма Criterij дозволить прискорити процес її відшукування.

### Список літератури

1. **Burdziej J.** GIS and 3-Dimensional Digital Terrain Modeling / **Jan Burdziej.** – Lund: GIS-Centum, 2003. – 15 с. - Режим доступу <http://www.uni.torun.pl>.
2. **Суворов С.Г.** Методика создания цифровых моделей рельефа повышенной точности / **Суворов С.Г., Дворецкий Е.М., Коваленко С.А.** // Информациа и Космос. – 2005. - вып. 1. - с. 52-54. Режим доступу <http://infokosmo.ru>
3. **Скворцов А.В.** Триангуляция Делоне и ее применение / **Скворцов А.В.** - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002.- 128 с.
4. **Шипулин В.Д.** Основные принципы геоинформационных систем: [учебн. пособие] / **Шипулин В.Д.** - Х.: ХНАГХ, 2010. – 337 с.
5. Геоінформаційна система SURFER – 5.01: [навчальний посібник / **Сидоренко В.Д., Новикова О.М., Леснікова Н.О., Колчина М.С.** – Кривий Ріг: Мінерал, 2003. – 191 с.
6. **Самсонников Д.В.** Оценка точности и выбор оптимальной цифровой модели рельефа / **Самсонников Д.В., Дмитренко А.П.** // Разраб. рудн. месторожд. – Вып. 92. –Кривой Рог.: КТУ, 2008. – С. 273-276.
7. **Самарский А.А.** Методы решения сеточных уравнений: [учебн. пособие] / **А.А. Самарский, Е.С. Николаев.** - М.: Наука, 1978. - 590 с.
8. **Турчак Л.И.** Основы численных методов: [учеб. пособие] / **Л.И. Турчак.** - М.: Наука, 1987. – 320 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.13

УДК 624.046.4

О. Б. НАСТИЧ, А. А. СЛИПИЧ, кандидаты техн. наук, доц.

В. В. ХВОРОСТ, канд. техн. наук, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

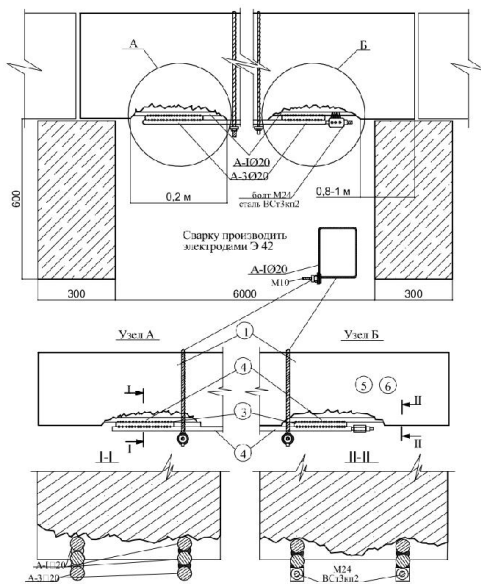
## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМЫШ-БУРУНСКОГО ЖРК

Приведены исследования прочности и долговечности железобетонных конструкций в условиях воздействия агрессивной среды.

Как показали результаты обследования железобетонных конструкций корпуса измельчения известняка Камыш-Бурунского ЖРК, вспомогательные балки и колонны подвала и первого этажа, вследствие совместного воздействия на них вибраций и агрессивной среды находятся в аварийном состоянии и нуждаются в немедленном усилении.

Анализ литературных источников показал, что наиболее эффективным способом усиления балок перекрытия является усиление с помощью горизонтальной предварительно-напряженной добавочной арматуры (рис. 1).

В результате установки дополнительной арматуры с предварительным ее натяжением меняется напряженно-деформированное состояние усиливаемой балки.



**Рис. 1.** Схема усиления железобетонной балки дополнительной предварительно-напряженной арматурой: 1 - усиливаемая балка; 2 - существующая арматура; 3 - коротыш; 4 - дополнительная арматура; 5 - болт с гайкой; 6 - упорные пластины

Предварительное напряжение надежно и своевременно включает дополнительную арматуру в работу и балка в дальнейшем может рассматриваться как железобетонная изгибаемая конструкция с увеличенной площадью арматуры и с изменившейся рабочей высотой.

При установке дополнительной горизонтальной арматуры защитный слой бетона необходимо отбить на небольшом участке 0,1-0,2 м в приопорной зоне на расстоянии 0,8-1 м от опоры, т.е. там, где напряжения в продольной арматуре незначительны.

К обнаженной рабочей арматуре должны быть приварены коротыши из арматуры класса А-І Ø20 мм. При этом необходимо не нарушать стержни поперечного армирования. К коротышам в последующем привариваются арматурные стержни усиления.

Для предохранения арматуры усиливаемой балки от выпучивания под действием момента, возникающего при натяжении стержней усиления, необходимо устанавливать наружные предварительно-напряженные хомуты.

Для предохранения арматуры усиливаемой балки от выпучивания под действием момента, возникающего при натяжении стержней усиления, необходимо устанавливать наружные предварительно-напряженные хомуты.

Предварительное напряжение стержней усиления для уменьшения существующего прогиба балки и большего закрытия трещин нужно принимать равным  $0,8 R_s$ . Оно должно обеспечить своевременное включение в работу элементов усиления и их полное использование.

Если проводить усиление при помощи горизонтальных дополнительных стержней, напрягаемых электротермическим способом, прежде всего следует определить необходимое их удлинение

$$\Delta l_{пол} = \Delta l_p + \Delta l_n, \quad (1)$$

где  $\Delta l_p = (0,8 R_s / E_a) = 0,39$  см расчетное удлинение стержня, нужное для получения требуемого предварительного напряжения;  $\Delta l_n$  - удлинение стержня, компенсирующее потери напряжения, ориентировочно принимается равной 20 % от  $\Delta l_p$ ;  $R_s$  - расчетное сопротивление арматуры А-ІІІ, равно  $36,5 \text{ кН/см}^2$ ;  $l$  - длина стержня усиления, равна 300 см;  $E_a$  - модуль упругости арматуры,  $2,26 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$ .

Тогда  $\Delta l_{пол} = 1,2 \cdot 0,39 \text{ см} = 0,47$ . Зная необходимое удлинение стержней усиления определяем температуру их нагрева

$$\Delta t = \frac{\Delta l_{пол}}{\alpha \cdot l} = 130^\circ \tilde{N}, \quad (2)$$

где  $\alpha = 120 \cdot 10^{-7}$  - температурный коэффициент расширения стали;  $\Delta t = t_{кон} - t_{нач}$  требуемая величина нагрева.

Как показали расчеты, в нашем случае для получения удлинения, которое обеспечит минимальное предварительное напряжение в стержнях усиления, изготовленных из арматурной стали класса А-ІІІ с учетом 20% потерь, необходимая температура нагрева в этом случае определяется просто, так как при смачивании нагреваемого стержня вода на нем закипает.

После закрепления на балке анкерных устройств стержень усиления необходимо установить в проектном положении при помощи временных подвесок, количество которых выбирают таким образом, чтобы исключалось провисание стержня прямолинейным. Один конец его необходимо надежно приварить к анкерному устройству, в второй остается свободным.

После этого стержень необходимо включить в электрическую цепь и нагреть до расчетной температуры, а свободный конец прижать к анкерному устройству и приварить. Со времени сварки и до полного остывания шва должна поддерживаться постоянная расчетная температура.

Отметим, что если к концу стержня заранее приварить упорную шайбу, а в анкере предусмотрены упоры, то после нагрева можно зафиксировать полученное удлинение вилочной шайбой, толщина которой равна требуемому удлинению стержня и которую устанавливают на стержень между шайбой и упором на анкер.

При отсутствии электротрансформаторов необходимой мощности предварительное напряжение в стержнях усиления можно выполнить термомеханическим способом. Для этого к концам стержней усиления привариваются натяжные болты с гайками. Стержни с одной стороны привариваются к анкеру, а свободные концы с болтами закладывают между упорами противоположного анкера. Подтягиванием гаек ликвидируются лифты и обжимаются анкеры. После этого стержни натягиваются болтами, а для обеспечения натяжения их подогревают бензорежом, что дает возможность вручную завинтить гайку болта на требуемое расстояние.

Анкерное устройство может быть выполнено таким образом, что после натяжения удлинение в стержне фиксируется шайбой, как при электротермическом методе, а болт может быть отрезан и использован вторично.

Подогрев стержня бензорежом желательно вести на коротком участке. Минимальную длину нагрева определить по формуле, см

$$L_n = \left( 1,2\sigma - \frac{P_1}{A} / 72 \right) l = 145,6 \text{ ,} \tag{3}$$

где  $L_n$  - минимальная длина участка нагрева;  $l=300$  см - длина стержня;  $\sigma=29,2$  кН - требуемое преднапряжение;  $A=4,52$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения стержня;  $P=0,5$  кН- сила натяжения гайки, которую можно создать гаечным ключом.

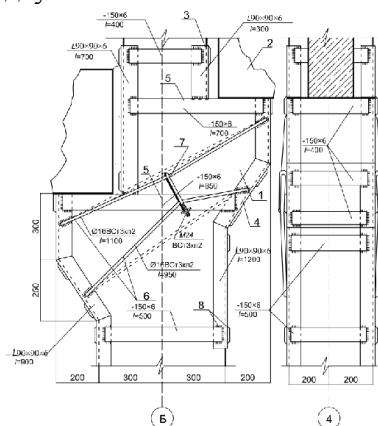
При создании предварительного напряжения необходимо учитывать, что температура нагрева стержня не должна превышать 400 °С. Нагревание необходимо производить равномерно по всей длине участка. Достижение требуемого удлинения стержня с учетом потерь необходимо определять по числу полных оборотов натяжной гайки.

Необходимо отметить, что при усилении конструкций требуется максимально ограничить нарушение их целостности. При обрыве арматуры и приварке коротышей к существующей арматуре нельзя допускать одновременный перегрев более чем одного стержня рабочей арматуры в существующем элементе. Сварку следует осуществлять электродами Э-42 и Э-42А. Болты для натяжения дополнительных арматурных стержней лучше всего выполнить из стали марки ВСт3 кп. Диаметр болтов должен быть на 4-6 мм больше диаметра арматурного стержня. Высота натяжных гаек должна составлять 1,5-2 диаметра болта. Гайки, шайбы, прокладки должны быть изготовлены из твердых сталей для предотвращения их сминания.

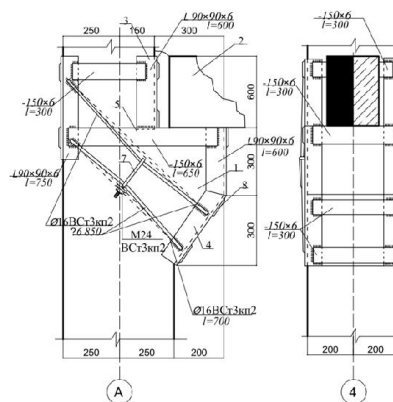
Дополнительную предварительно-напряженную арматуру усиления необходимо приварить на расстоянии 0,8-1,0 мм от опор. В месте приварки нужно поставить наружный предварительно-напряженный хомут диаметром 10 мм (см. рис. 1). Нагревать стержни удобно сварочным трансформатором СТЭ-34 мощностью 30 кВт.

В результате обследования корпуса измельчения известняка были также обнаружены колонны каркаса, консоли которых находятся в аварийном состоянии и нуждаются в немедленном усилении. Как известно, наиболее эффективно удаление коротких консолей можно осуществить с помощью наклонных преднапряженных тяжей.

На рис. 2 и 3 изображены рекомендуемые конструкции усиления для одноконсольной и двухконсольной колонн.



**Рис. 2.** Схема усиления одноконсольной колонны взаимно-стягивающимися тяжами: 1 - усиливаемая консоль; 2 - ригель; 3 - верхняя короткая обойма из уголков; 4 - нижний упор; 5 - горизонтальная обойма из уголков; 6 - нижний упор; 7 - горизонтальный окаймляющий хомут; 8 - взаимно-стягивающиеся тяжи; 7 - тяжной хомут; 8 - сварка



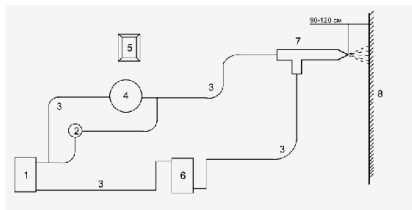
**Рис. 3.** Схема усиления двухконсольной колонны взаимно-стягивающимися тяжами: 1 - усиливаемая консоль; 2 - ригель; 3 - верхняя короткая обойма из уголков; 4 - нижний упор; 5 - горизонтальный окаймляющий хомут; 6 - взаимно-стягивающиеся тяжи; 7 - стяжной хомут; 8 - сварка

Предварительное напряжение тяжелей необходимо производить их взаимным стягиванием с помощью специальных захватов. Захваты рекомендуется изготавливать из стали марки Ст 3 кп. Гайки должны быть изготовлены из твердых сталей для предотвращения их сминания.

В связи с тем, что металлические конструкции усиления обладают меньшей стойкостью к коррозионному разрушению, чем железобетонные конструкции, то они обязательно должны быть защищены от воздействия агрессивной среды.

Наиболее простым и эффективным способом защиты от коррозии преднапряженных горизонтальных затяжек является устройство защитного слоя бетона.

Для повышения сцепления свежееуложенного бетона со старым рекомендуется производить обмазку спрягаемых поверхностей на существующих конструкциях эпоксидной смолой Э-40.



**Рис. 4.** Схема торкретирования: 1 - компрессор; 2 - воздухоочиститель; 3 - шланги; 4 - цемент-пушка; 5 - материал; 6 - расходный бак воды; 7 - сопло; 8 - отштукатуриваемая поверхность

При торкретировании (рис. 4) необходимо учитывать, что число слоев зависит от общей толщины наносимого раствора: при помощи наносимого слоя до 15 мм - один слой; от 16 до 20 мм - два слоя; от 21 до 40 мм - три слоя.

В раствор целесообразно добавлять вещества, повышающие его плотность и гидрофобность (алюминат или абиетат кальция, жидкое стекло, сульфатно-спиртовую барду, азотно-кислый кальций).

Сопло торкрет-аппарата должно располагаться на расстоянии 1-1,2 м от торкретируемой поверхности, нанесение слоев торкрета необходимо производить с перерывами, чтобы под действием свежей струи не разрушался предыдущий слой и обеспечивалась монолитность всего перекрытия.

Ранее уже отмечалось, что на железобетонные конструкции корпуса измельчения действуют вибрационные нагрузки. Как известно, их воздействие может повлиять на сроки схватывания, на рост прочности восстанавливаемого защитного слоя и на прочность его сцепления с арматурой и старым бетоном.

Однако исследования, проведенные в Донецком Промстройпроекте показали, что даже вибрация с амплитудой колебаний до 0,1 мм и частотой 22 Гц не оказывает заметного влияния на сроки схватывания и прочность бетона. В данном случае параметры вибраций значительно меньше.

Рассмотрим теперь существующие в настоящее время составы для восстановления защитного слоя бетона. Отметим, что такой защитный слой должен обладать следующими свойствами: плотностью, предотвращающей проникновение агрессивной среды к металлу конструкций, высокой стойкостью по отношению к агрессивной среде; величиной водородного показателя в пределах 12-14; высокой прочностью сцепления с металлом; высокой деформативностью.

Наиболее полно удовлетворяют указанные выше требования шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе.

Данные вяжущие представляют собой композиционный материал, получаемый при твердении смеси молотого доменного гранулированного шлака и щелочного компонента, в качестве которого могут быть использованы: кальцинированная сода, каустическая сода, жидкое стекло и другие вещества, представляющие собой натриевую и калиевую соль слабой кислоты.

Камень затвердевшего шлакощелочного вяжущего обладает прочностью при сжатии до 80 МПа, прочностью на растяжение до 10 МПа. Кроме того, щелочные вяжущие в 10-15 раз дешевле традиционных защитных лакокрасочных покрытий. В камне затвердевшего шлакощелочного вяжущего на всем протяжении его твердения сохраняется высокое значение водородного показателя pH (свыше 12,5).

В 1988 г. сотрудниками отраслевой лаборатории ОНИЛ КГРИ при ПО «Южруда» Шишкиным А.А. и Новиковым И.В. были разработаны рекомендации по защите железобетонных конструкций работающих в условиях воздействия на них агрессивной жидкой среды.

В соответствии с рекомендациями состав защитного покрытия выбирается исходя из наличия материалов. Ниже приведены равноценные составы защитного шлако-шламового покрытия для конструкций работающих в условиях жидких агрессивных сред.

#### *Состав I*

грунтовочный слой из вяжущего толщиной не менее 10 мм (В/В = 0,35);

основной слой из раствора состава 1:1 (вяжущее-песок) толщиной не менее 30 мм ( $V/V = 0,4$ ).

#### Состав II

слой вяжущего не менее 30 мм ( $V/V = 0,35$ );

песчаная посыпка по свежееуложенному вяжущему;

покрытие нефтеститомом, кузбаслаком, смесью 1:1 кузбаслака и лака ХСЛ.

В качестве материалов для защитных покрытий рекомендуется использовать основные материалы:

молотый доменный гранулированный шлак (удельная поверхность 200-250 м<sup>2</sup>/кг, 43-69%);

натриевое жидкое стекло (силикатный модуль 2,5-2,8, 30-31%);

молотые шлаки обогащения железных руд (удельная поверхность 150-250 м<sup>2</sup>/кг, 12-40 %);

дополнительные материалы:

кварцевый песок;

каменноугольный лак;

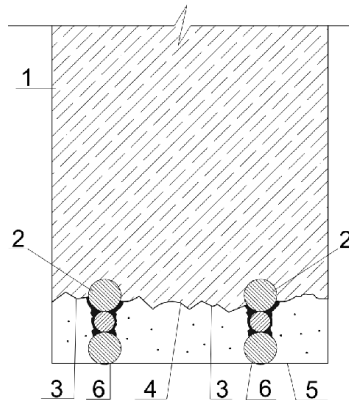
битумный лак БТ-783;

перхлорвиниловый лак (ХСЛ);

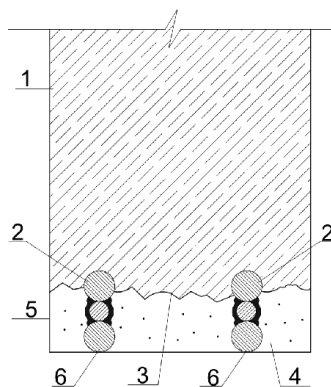
нефтеститом БН-У.

При отсутствии торкрет-аппарата нанесение защитного покрытия на конструкции может быть произведено оштукатуриванием в предварительно установленную опалубку. При производстве работ следует учитывать, что время начала схватывания шлакошламового вяжущего составляет 20-30 мин.

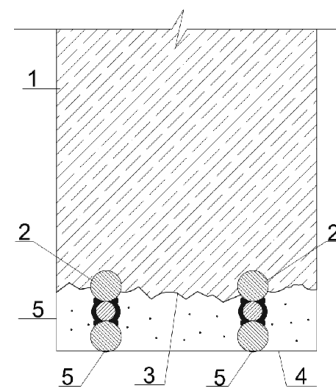
Отметим, что кроме рекомендуемого состава имеется еще много равноценных составов, способных надежно защитить конструкции усиления и существующую арматуру от воздействия агрессивной среды (рис. 5-9). Любой из этих составов может быть использован в настоящем случае.



**Рис. 5.** Оштукатуривание плотным цементно-песчаным раствором: 1 - восстанавливаемая конструкция; 2 - рабочая арматура восстанавливаемой конструкции, очищенная от продуктов коррозии при помощи зубила и стальных щеток; 3 - расчищенная поверхность конструкции до бетона с  $pH \geq 12$  и увлажненная; 4 - покрытие очищенной арматуры казеиновым клеем с замедлителем коррозии (состав покрытия в частях по массе: порландцемент-100, казеиновый клей-5, нитрат натрия-10, из плотного цементно-песчаного раствора состава I: 2,5-1:3, наносимый в виде штукатурки); 6 - стержень дополнительный преднапряженной арматуры

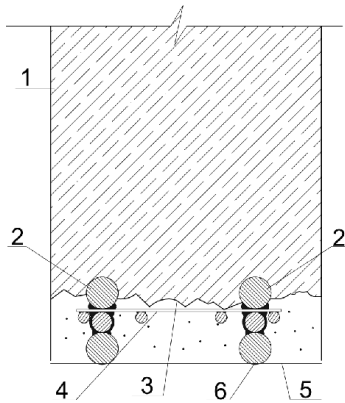


**Рис. 6.** Оштукатуривание цементно-песчаным раствором с нанесением лакокрасочного покрытия: 1 - восстанавливаемая конструкция; 2 - рабочая арматура восстанавливаемой конструкции, очищенная от продуктов коррозии; 3 - расчищенная поверхность конструкции до бетона с  $pH \geq 12$  и увлажненная; 4 - восстановленный защитный слой из цементно-песчаного раствора состава 1:2; 5 - трещиностойкое лакокрасочное покрытие; 6 - стержень дополнительной преднапряженной арматуры

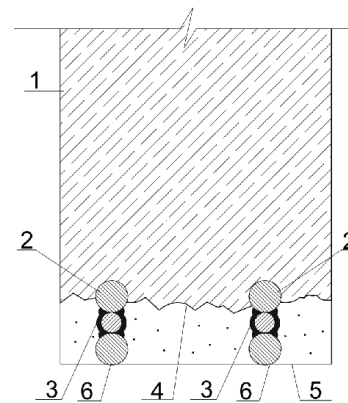


**Рис. 7.** Обетонирование цементным раствором: 1 - восстанавливаемая конструкция; 2 - рабочая арматура восстанавливаемой конструкции, очищенная от продуктов коррозии; 3 - расчищенная поверхность конструкции до бетона с  $pH \geq 12$  и увлажненная; 4 - восстановленный защитный слой из бетона, имеющего прочность не ниже прочности бетона восстанавливаемой конструкции, наносимый бетонированием или торкретированием; 5 - стержень дополнительной преднапряженной арматуры

Изложенный способ защиты конструкций усиления от воздействия агрессивной среды дополнительных стержней усиления нецелесообразен для создания защитных покрытий конструкций усиления колонн. В этом случае наиболее простым и эффективным способом защиты являются лакокрасочные покрытия.



**Рис. 8.** Торкретирование плотным цементно-песчаным раствором: 1 - восстанавливаемая конструкция; 2 - рабочая арматура восстанавливаемой конструкции, очищенная от продуктов коррозии, при помощи пескоструйного аппарата стальных щеток или скребков; 3 - расчищенная поверхность конструкции до бетона с  $pH \geq 12$  и увлажненная; 4-арматурная сетка из проволоки диаметром 2-3 мм с ячейкой 50×50 мм, приваренная к арматуре; 5-восстановленный защитный слой из плотного цементно-песчаного раствора состава 1:1 или 1:1,5 на портландцементе марки не ниже 400, наносимый торкретированием; 6-стержень дополнительной преднапряженной арматуры



**Рис. 9.** Обетонирование цементным бетоном: 1 - восстанавливаемая конструкция; 2 - рабочая арматура восстанавливаемой конструкции, очищенная от продуктов коррозии; 3 - накладки из арматурной стали, приваренные к рабочей арматуре для компенсации прокорродировавшей ее части; 4 - расчищенная поверхность конструкции до бетона с  $pH \geq 12$ , увлажненная и покрытая слоем цементно-песчаного раствора состава 1:2; 5 - восстановленный (через 1,5 часа после нанесения слоя раствора) защитный слой бетона, наносимый бетонированием или торкретированием; 6 - стержень дополнительной преднапряженной арматуры

В соответствии с требованиями СНиП 2.03. П-85 при эксплуатации металлических конструкций внутри неотапливаемых зданий с влажным режимом, что соответствует данному случаю, рекомендуется применять следующие группы лакокрасочных покрытий:

пенополиуретановые эмали (УР-175);

перхлорвиниловые эмали (ХВ-1100, ХВ-124 по грунтовке ХС-010 ХС-068);

эпоксидные эмали (ЭП-140 по грунтовкам ЛК-070, АК-069, ЭП-09Т).

В соответствии с требованиями СНиП 2.03. 11-85 при эксплуатации металлических конструкций внутри неотапливаемых зданий с влажным режимом, что соответствует нашему случаю, рекомендуется применять следующие группы лакокрасочных покрытий:

пенополиуретановые эмали (УР-175);

перхлорвиниловые эмали (ХВ-1100, ХВ-124 по грунтовке ХС-010 ХС-068);

эпоксидные эмали (ЭП-140 по грунтовкам ЛК-070, АК-069, ЭП-09Т).

Известно, что лакокрасочное покрытие может обеспечить высокое качество защиты лишь в том случае, если обеспечивается надлежащая подготовка защищаемого металла. Ниже приведена рекомендуемая методика нанесения антикоррозионного лакокрасочного покрытия на элементы стальных конструкций усиления колонн:

конструкции подвергаются пескоструйной очистке, а затем грунтуются;

поверхности элементов конструкций усиления, недоступные для окраски после сборки, должны полностью зачищаться до сборки;

места монтажной сварки, а также поврежденные при монтаже покрытия и грунт должны восстанавливаться на месте;

окончательная окраска конструкций усиления производится после их монтажа.

### Список литературы

1. СНиП П-22-81. Каменные конструкции / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 92 с.
2. СНиП 2.03. 11-85. Защита строительных конструкций от коррозии/ Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 46 с.
3. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 76 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. – К.: Минстрой Украины, 2006.