

КУРШПЕЛЬ А. В.
КУРШПЕЛЬ В. Х.

О характере образования трещин в фундаментах вагоноопрокидывателя Рефтинской ГРЭС



**Куршпель
Александр
Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и строительного производства, ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: akurshpel@yandex.ru



**Куршпель
Владимир
Хрисанфович**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и механики грунтов, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: vkurshpel@yandex.ru

Статья написана по материалам, изложенным в Научно-техническом отчете по результатам хозяйственной работы, выполненной сотрудниками ООО Научное объединение «СтройДиагностика» в 2019 году. В статье приведены результаты натурных обследований железобетонных фундаментов вагоноопрокидывателя Рефтинской ГРЭС. Рассмотрены причины образования и характер трещин различной ориентации, вызванных давлением крепежных анкеров на бетон при разгрузке вагонов. Предложен новый метод расчета прочности бетона на выкалывание при действии нагрузки.

Ключевые слова: фундамент, привод, ротор, нагрузка, прочность бетона, трещина, расчет прочности.

KURSHPEL A. V., KURSHPEL V. H.

ON THE NATURE OF CRACK FORMATION IN THE TRIPPLER BEARER OF REFTINSKAYA HYDROELECTRIC STATION

This article is based on the materials presented in the Scientific and technical report on the results of contractual work performed by employees of Scientific Association «Stroidiagnostika» in 2019. The article presents the results of in-kind surveys of reinforced concrete trippler bearer of Reftinskaya hydroelectric station. Reasons for formation and nature of cracks of different orientation caused by pressure of fastening anchors on concrete during unloading of wagon. A new method of calculating the strength of concrete for puncturing under load is proposed.

Keywords: foundation, trippler bearer, drive, rotor, load, concrete strength, crack, strength calculation.

В статье рассмотрен вопрос образования локальных трещин в бетонных фундаментах в зонах расположения анкерных болтов, что имеет большое практическое значение, поскольку подобные случаи могут встретиться и в других типах фундаментов, воспринимающих динамические нагрузки от установленного на них оборудования.

Целью статьи является разработка методов расчета прочности фундаментов в зонах расположения анкерных болтов, передающих многократно-повторные нагрузки на окружающий бетон, выполненных на основании натурных обследований, проведенных на объектах инфраструктуры Рефтинской ГРЭС.

Рефтинская ГРЭС — крупнейшая тепловая электростанция в России, работающая на твердом топливе — экибастузском угле. Доставка твердого топлива осуществляется железнодорожным транспортом на расстояние около 1400 км. Разгрузка угля из железнодорожных вагонов происходит механизированным спо-

собом, с помощью вагоноопрокидывателей типа ВРС-134. Затем твердое топливо по системе ленточных конвейеров, расположенных в подземных галереях и надземных эстакадах, попадает в дробильный корпус для дальнейшего измельчения. Роторные вагоноопрокидыватели ВРС-134, воспринимающие динамические нагрузки, предназначены для разгрузки полувагонов с сыпучими материалами весом до 134 т путем опрокидывания их во вращающемся роторе. Они оснащены тормозным устройством для фиксации полувагонов на платформе. Пригодны для работы при температуре окружающего воздуха от +60 °С до –45 °С.

Первые металлические конструкции вагоноопрокидывателя были установлены на фундамент из монолитного железобетона, возведенный в 1968–1969 гг. Автором разработки технической документации на фундамент вагоноопрокидывателя Рефтинской ГРЭС является институт «Атомтеплоэлектропроект» в Свердловске (ныне г. Екатеринбург).

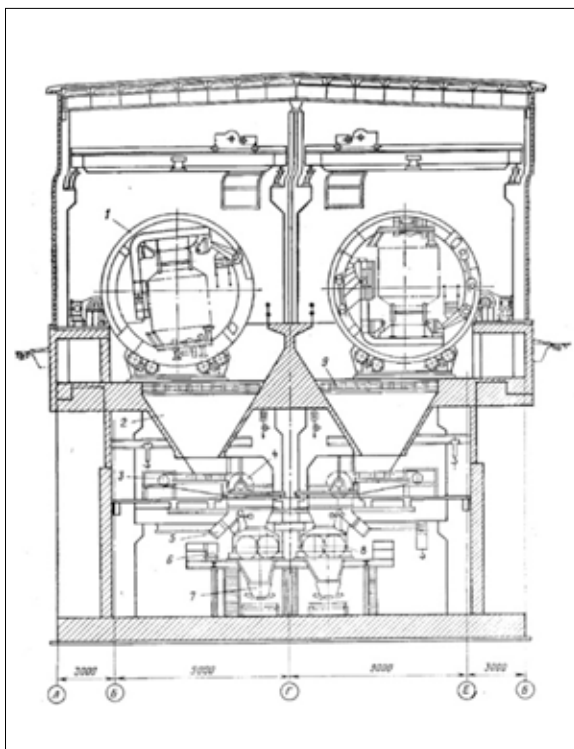


Иллюстрация 1. Схема расположения вагоноопрокидывателей на фундаменте. Схема предоставлена руководством Рефтинской ГРЭС в составе рабочего проекта сооружения. Август 2019 г.

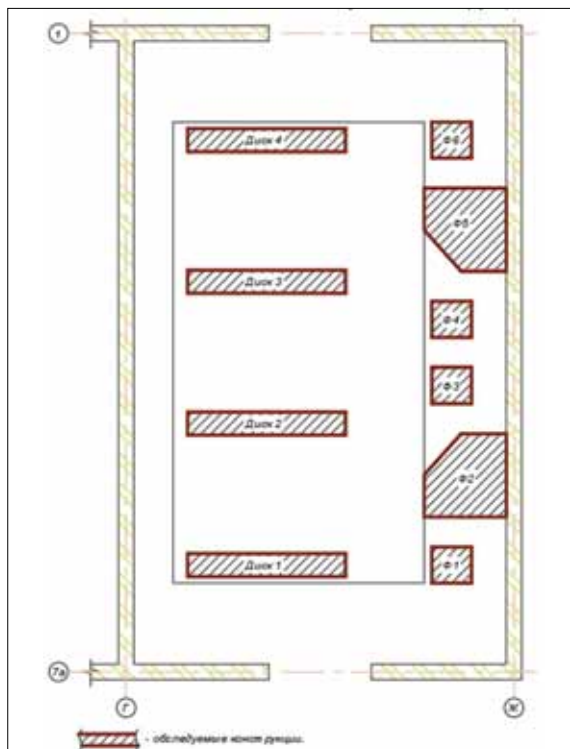


Иллюстрация 2. Схема расположения фундаментов опорных частей вагоноопрокидывателя. Автор схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.

Роторные вагоноопрокидыватели типа ВРС-134, предназначенные для разгрузки угля из четырехосных полувагонов в приемные бункеры, установлены на бетонном фундаменте в отдельном здании. Схема расположения вагоноопрокидывателей на фундаменте представлена руководством Рефтинской ГРЭС по материалам ранее проведенных обследований (Иллюстрация 1).

В 2019 г. была запланирована замена одного вагоноопрокидывателя, отслужившего гарантийный срок, на вагоноопрокидыватель нового поколения ВРС-134М, для которого предполагалось использовать существующий фундамент. Пригодность существующего фундамента для монтажа и дальнейшей работы нового оборудования была определена по результатам натурных обследований. Натурные обследования фундамента вагоноопрокидывателя были проведены в августе 2019 г.

До начала проведения обследований изучена проектно-техническая документация по объекту и составлена программа обследования фундамента вагоноопрокидывателя ВРС-1234 с учетом нормативных документов, представленных в списке использованной литературы [1–5].

Фундамент вагоноопрокидывателя представляет собой перевернутый железобетонный кессон, заглубленный в грунт до уровня планировочной отметки, включающий стеновое ограждение по периметру и отдельные выступы во внутреннем объеме, являющиеся фундаментами опорных частей ротора (Диск 1, Диск 2, Диск 3, Диск 4) и фундаментами приводов роторов (Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф5, Ф6). Все элементы фундамента вагоноопрокидывателя были забетонированы одновременно при его возведении (Иллюстрация 2).

Железобетонные фундаменты под оборудование, воспринимающие значительные по величине нагрузки от оборудования и находящиеся в стадии эксплуатации в агрессивной среде, работают в условиях сложного на-

пряженного состояния. В результате, в них могут образовываться механические повреждения — сколы бетона, трещины различной ориентации и другие дефекты, снижающие работоспособность и приводящие к выходу конструкций из строя до истечения расчетного срока службы. Накопление локальных повреждений в железобетонных фундаментах является длительным процессом и носит случайный характер. Дефекты могут возникать от длительного приложения напряжений, близких к расчетному сопротивлению бетона, или при кратковременном приложении внезапно возросших усилий. Своевременное проведение обследований железобетонных конструкций, работающих в сложных условиях эксплуатации, позволяет выявить возникшие дефекты и, в случае необходимости, разработать предложения по их усилению. Вопросам обеспечения надежности и долговечности железобетонных конструкций посвящены многочисленные исследования [6–12].

Методика обследования фундамента вагоноопрокидывателя Рефтинской ГРЭС проведена в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по обследованию строительных конструкций. В нашей статье даны ссылки на источники, непосредственно связанные с предлагаемым в ней текстом [1–3]. При проведении обследований использовались стальные линейки с делениями 1 мм, переносной микроскоп с ценой деления 0.1 мм, ультразвуковой тестер «Пульсар 2.1». Класс бетона по прочности на сжатие для фундаментов приводов определен методом ударного импульса с помощью электронного измерителя прочности ОНИКС-2.5.

В результате проведенных обследований выяснено, что в целом бетонный фундамент вагоноопрокидывателя находится в работоспособном состоянии и пригоден для монтажа нового оборудования. Однако на поверхности бетонных фундаментов приводов роторов

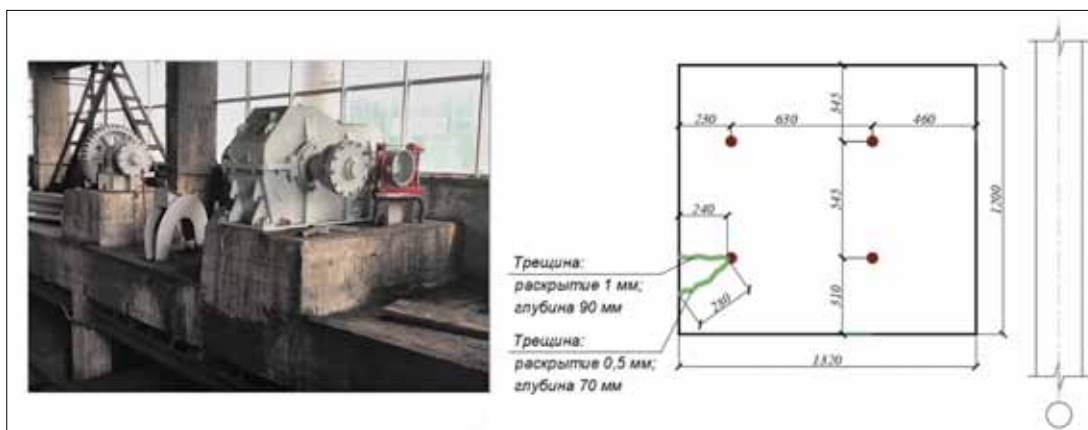


Иллюстрация 3. Общий вид и схема расположения обнаруженных дефектов фундамента привода ротора Ф1.
Автор фото и схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.



Иллюстрация 4. Общий вид и схема расположения обнаруженных дефектов фундамента привода ротора Ф2.
Автор фото и схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.

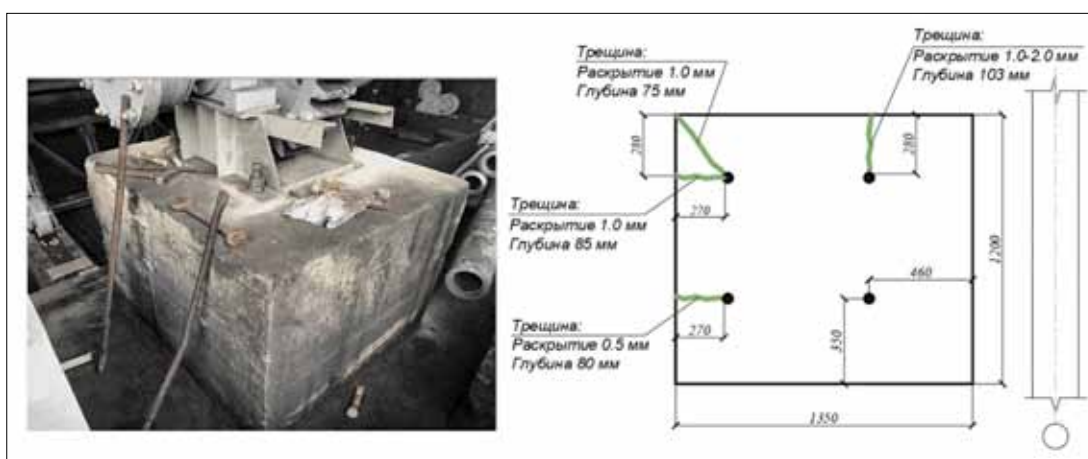


Иллюстрация 5. Общий вид и схема расположения обнаруженных дефектов фундамента привода ротора Ф3.
Автор фото и схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.

вагонопрокидывателя (Ф1—Ф6), размерами в плане 1 200×1 300 мм и 2 700×2 800 мм, высотой 900 мм, выявлены отдельные трещины в зонах расположения анкерных болтов (Иллюстрации 3–8).

Обнаруженные трещины возникли в стадии эксплуатации вагонопрокидывателя достаточно давно (Иллюстрация 9).

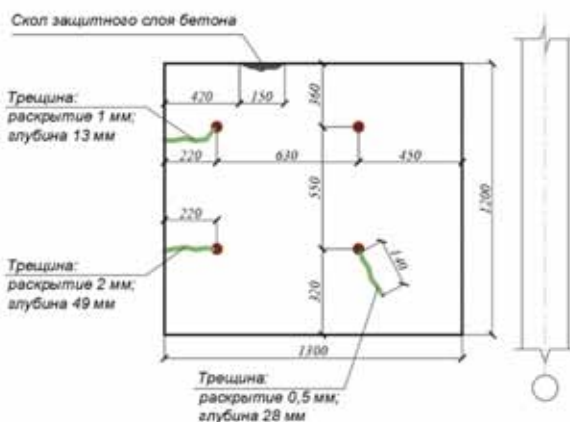


Иллюстрация 6. Общий вид и схема расположения обнаруженных дефектов фундамента привода ротора Ф4. Автор фото и схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.

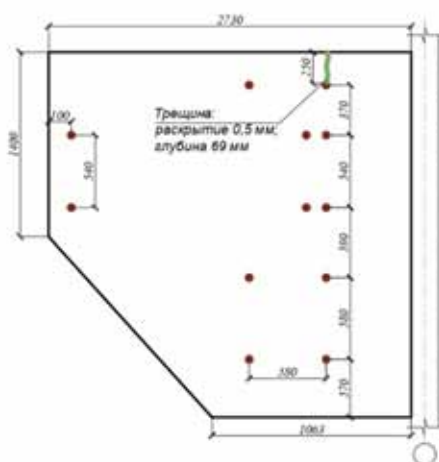


Иллюстрация 7. Общий вид и схема расположения обнаруженных дефектов фундамента привода ротора Ф5. Автор фото и схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.

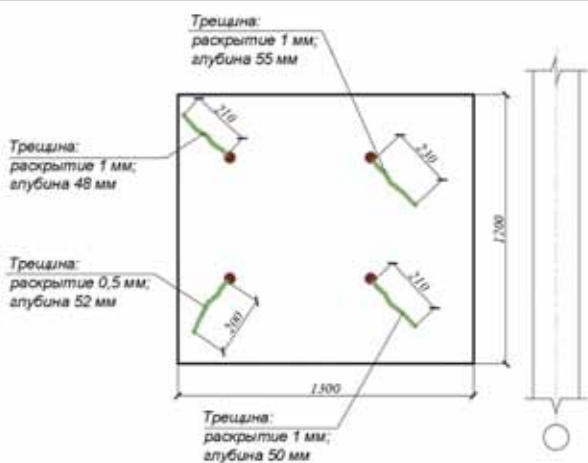


Иллюстрация 8. Общий вид и схема расположения обнаруженных дефектов фундамента привода ротора Ф6. Автор фото и схемы А. В. Куршпель. Август 2019 г.

Вновь образованных трещин в фундаментах приводов не выявлено. Существующие трещины на поверхности фундаментов Ф1—Ф6 не представляют опасности для их несущей способности.

Результаты определения прочности бетона фундаментов ротора вагонопрокидывателя представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения прочности бетона фундаментов ротора вагоноопрокидывателя

Конструкция	Частные результаты определения призмочной прочности R _{b,n} , МПа										Среднее значение R _{b,n} ср., МПа	Значение R _{b,n} по СП 63.13330.2012, МПа	Класс бетона по табл 6.7 СП 63.13330.2012
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Ф1	15.9	15.9	15.7	16.2	16.1	16.8	16.5	15.7	16.4	17.1	16.2	15.0	B20
Ф2	17.5	17.9	15.6	16.8	17.9	18.4	18.1	17.4	16.5	16.9	17.3	15.0	B20
Ф3	16.8	16.8	18.0	15.6	15.6	17.4	17.1	15.6	15.5	17.1	16.6	15.0	B20
Ф4	17.7	16.4	17.2	15.8	17.4	17.7	18.2	16.8	15.7	15.7	16.9	15.0	B20
Ф5	16.4	16.5	17.9	16.1	15.8	18	15.9	17	17.5	18.3	16.9	15.0	B20
Ф6	15.5	16.2	15.9	15.9	16.1	16.3	16.5	15.8	16.4	17.1	16.2	15.0	B20



Иллюстрация 9. Характерные трещины, обнаруженные на поверхности фундаментов приводов ротора. Автор фото А. В. Куршпель. Август 2019 г.

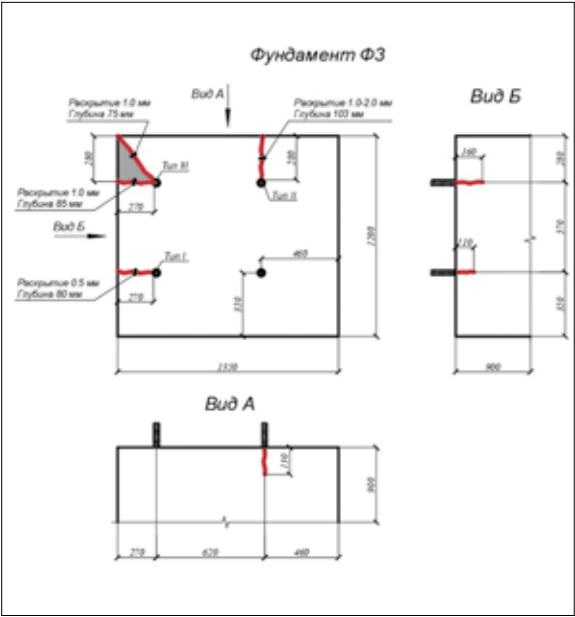


Иллюстрация 10. Схема расположения характерных трещин на фундаменте Ф3. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

По результатам проведенных измерений класс бетона по прочности на сжатие составил: для фундаментов приводов Ф1, Ф3, Ф4, Ф5, соответственно, 16.7 МПа, 16.2 МПа, 16.2 МПа, 16.9 МПа.

Для дальнейших расчетов прочности для всех фундаментов принят бетон класса В25, с расчетным сопротивлением 14.5 МПа.

Причиной образования трещин в зонах расположения анкеров являются усилия от мгновенного приложения горизонтальной нагрузки, возникающей в момент опрокидывания вагонов, которая передается анкерами приводных механизмов диаметром 30 мм на окружающий бетон. При действии горизонтальных усилий в бетоне фундаментов возникает сложное напряженное состояние, приводящее к образованию трещин различной ориентации.

Анализ расположения трещин в фундаментах приводов роторов вагоноопрокидывателя свидетельствует о различных причинах их образования:

- а) от растяжения, перпендикулярно действующему усилию (тип I);
- б) от раскалывания бетона анкером, в направлении действующего усилия (тип II);
- в) от действия главных напряжений, приводящих к выкалыванию части объема бетона в форме усеченной пирамиды (тип III).

В качестве примера для определения причин образования трещин и выполнения инженерных расчетов принят фундамент Ф3, в котором присутствуют все типы обнаруженных дефектов. Схема расположения трещин различных типов на поверхности фундамента привода ротора Ф3 выполнена авторами статьи и представлена на Иллюстрации 10.

Сдвигающая сила, передающаяся с анкера на бетон, рассчитана по формуле (Б.5) [4]:

$$Q_{an,j,0} = \gamma_{s,sh} \cdot A_{an,j} \cdot \sqrt{R_b \cdot R_s} = 1,65 \cdot 0,000707 \cdot \sqrt{14,5 \cdot 210 \cdot 10^3} = 64,4 \text{ кН},$$

где $\gamma_{s,sh} = 1,65$;
 $A_{an,j} = 7,07 \text{ см}^2$ — площадь поперечного сечения анкера диаметром 3 мм;
 $R_b = 14,5 \text{ МПа}$ — расчетное сопротивление бетона класса В25 на сжатие;

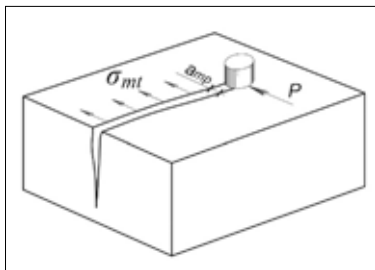


Иллюстрация 11. Схема образования трещин типа I. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

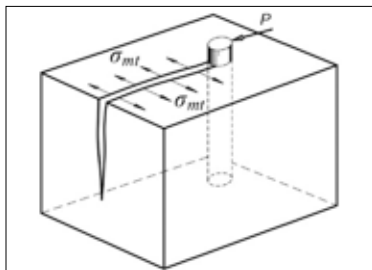


Иллюстрация 12. Схема образования трещин типа II. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

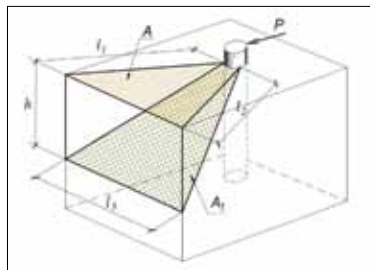


Иллюстрация 13. Схема расположения плоскости среза при выкалывании бетона анкерным болтом. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

$R_s = 210$ МПа — расчетное сопротивление арматуры класса А240.

Действующее усилие от анкерного болта передается на окружающий бетон, который в данном случае работает на растяжение по площади отрыва, образуя трещину типа I (Иллюстрация 11).

Усилие отрыва, воспринимаемое бетоном, рассчитано по средним значениям размеров трещины, определенным при обследовании:

$$N \leq R_{bt,n} \cdot A_b = 1,55 \cdot 10^3 \cdot 0,27 \cdot 0,080 = 33,5 \text{ кН},$$

где $R_{bt,n} = 1,55 \cdot 10^3$ кН/м² — расчетное сопротивление бетона растяжению;

$L = 270$ мм — длина трещины отрыва;

$H = 80$ мм — глубина трещины.

Поскольку $N = 33,5 \text{ кН} < Q_{an,j,0} = 64,4 \text{ кН}$, трещина отрыва в бетоне образуется.

Трещины типа II образуются от раскалывания бетона в направлении действующего усилия при вдавливании анкера в бетон. Схема раскалывания бетона анкерным стержнем показана на Иллюстрации 12.

Исходные данные:

$Q_{an,j,0} = 64,4 \text{ кН}$ — горизонтальное усилие, передаваемое анкером на бетон;

$D = 30$ мм — диаметр анкерного стержня;

$L = 280$ мм — длина трещины раскалывания;

$H = 103$ мм — глубина трещины;

$A = L \cdot H = 0,28 \cdot 0,103 = 0,029 \text{ м}^2$ — площадь раскола бетона.

Несущая способность бетона при раскалывании:

$$N = R_{bt,n} \cdot A = 1,55 \cdot 10^3 \cdot 0,029 = 44,95 \text{ кН}.$$

Поскольку $N = 44,95 \text{ кН} < Q_{an,j,0} = 64,4 \text{ кН}$, произойдет раскалывание бетона от действия поперечной силы.

Разрушение бетона при выкалывании анкерным болтом происходит после появления нормальных и наклонных трещин типа III, проходящих через толщу бетона от анкера в сторону края фундамента. Как видно из Иллюстрации 10, размеры высоты трещин в зоне расположения анкера на торцевой поверхности фундамента 160 мм, а в средней части — 80 мм. Этот факт дает основание предположить, что в массиве фундамента создается плоскость скалывания, расположенная под некоторым углом к горизонтальной поверхности фундамента, по которой в дальнейшем может произойти срез бетона в случае увеличения нагрузки. Размер площади скалывания A_1 определяется как проекция горизонтального плана участка фундамента A между трещинами на наклонную плоскость, расположенную под углом к оси анкера. По данным натурного эксперимента верхняя точка наклонной плоскости находится вблизи горизонтальной поверхности фундамента в месте выхода анкерного болта (Иллюстрация 13).

Расчет усилия среза, воспринимаемого бетоном площадки скалывания, можно провести следующим образом.

Расстояние от анкера до наружной грани фундамента 270 мм, расстояние между трещинами на торце фундамента — 280 мм.

Глубина трещин на торце фундамента — 160 мм, а в середине расстояния от торца фундамента до центра анкерного болта — 80 мм.

Площадь верхней грани пирамиды продавливания:

$$A = \frac{0,27 \cdot 0,28}{2} = 0,038 \text{ м}^2.$$

Угол наклона рабочей поверхности площадки среза бетона:

$$\tan \phi = \frac{160}{270} = 0,59; \phi = 30^\circ.$$

Площадь рабочей поверхности площадки среза, наклоненной под углом 30° к горизонтальной поверхности фундамента:

$$A_1 = \frac{A}{\cos 30^\circ} = \frac{0,038}{0,866} = 0,044 \text{ м}^2.$$

Усилие, воспринимаемое рабочей плоскостью площадки среза, равно:

$$F = \phi \cdot R_{bt,n} \cdot A_1 = 1,5 \cdot 1,55 \cdot 10^3 \cdot 0,044 = 102,3 \text{ кН}$$

$$> Q_{an,j,0} = 64,4 \text{ кН}.$$

Прочность фундамента на выкалывание бетона обеспечена.

В формулах для расчета прочности выкалывания бетона анкерным болтом, представленных в [5], фигурирует площадь основания пирамиды выкалывания, расположенная на торцевой грани фундамента, которая не подвергается действию каких-либо нагрузок. В отличие от указанной выше методики, в наших расчетах использована нижняя грань пирамиды выкалывания, которая непосредственно воспринимает действующие усилия. Считаем, что такой расчет является более реальным.

Для дальнейшей нормальной эксплуатации вагоноопрокидывателя было принято решение об устройстве металлического усиления фундаментов обвязки зоны возникновения трещин обоймой из стального проката.

Площадь сечения металлического обрамления принята по усилию, возникающему при выкалывании бетонной пирамиды анкером, расположенным в угловой зоне фундамента после образования трещин на поверхности бетона, при следующих данных (Иллюстрация 14):

$$N = R_{bt,n} \cdot A_{bt} = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 150,0 \text{ кН},$$

$$\text{где } A_{bt} = \frac{A}{\cos \phi} = \frac{0,3 \cdot 0,3}{0,87} = 0,1 \text{ м}^2;$$

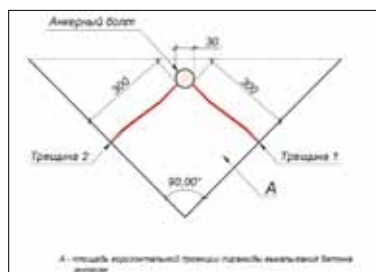


Иллюстрация 14. Расчетная схема для определения площади поперечного сечения металлического обрамления. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

$\varphi = 30^\circ$ — угол наклона плоскости среза пирамиды выкалывания бетона.

Площадь сечения элемента обрамления фундамента определим по формуле:

$$A_s^{теор} = \frac{N}{R_s} = \frac{150}{210 \cdot 10^3} = 0,00071 \text{ м}^2 = 7,1 \text{ см}^2.$$

Для усиления фундаментов принят равнополочный уголок 75 × 8 по ГОСТ 8509–72*:

$$A_s^{факт} = 11,5 \text{ см}^2.$$

Принципиальное решение металлической обвязки в зоне возникновения трещин фундаментов представлено на Иллюстрациях 15, 16.

При монтаже металлического усиления под уголки 75 × 8 (поз. 1) необходимо уложить слой раствора марки М150 для обеспечения надежного прилегания конструкций усиления по всему периметру фундамента. После монтажа пригрузить металлическое усиление для обеспечения плотного прилегания позиции 1 к верхней грани фундамента. В дальнейшем, не снимая пригруза, используя безударный инструмент, высверлить отверстия в фундаменте через отверстия в позиции 2 для установки распорных анкеров Ø14 мм, длиной 100 мм.

Заключение

- 1 В результате натурных обследований выяснилось, что железобетонные фундаменты вагоноопрокидывателя Рефтинской ГРЭС имеют достаточную несущую способность для восприятия действующих нагрузок от вновь устанавливаемого оборудования.
- 2 Фундаменты приводов роторов, получившие в стадии эксплуатации незначительные трещины в зонах влияния анкерных болтов, усилены по периметру стальным прокатом.
- 3 Схема расположения трещин в фундаментах приводов роторов вагоноопрокидывателя сви-

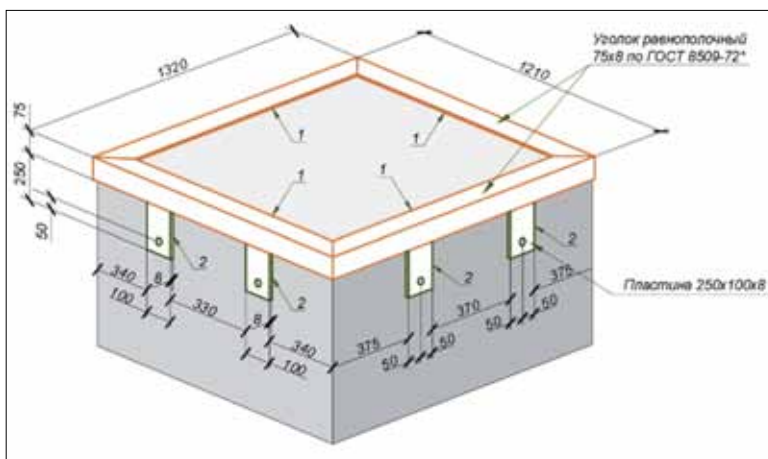


Иллюстрация 15. Принципиальное решение металлической обвязки в зоне возникновения трещин фундаментов Ф1, Ф3, Ф4, Ф6 привода ротора вагоноопрокидывателя. Уголок равнополочный 75 × 8 ГОСТ 8509–72*; 2. Полоса 100 × 250 × 8. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

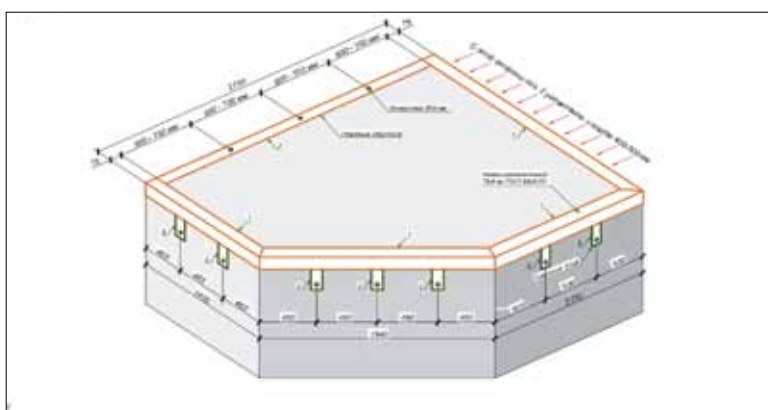


Иллюстрация 16. Принципиальное решение металлической обвязки в зоне возникновения трещин фундаментов Ф1, Ф3, Ф4, Ф6 привода ротора вагоноопрокидывателя. Уголок равнополочный 75 × 8 ГОСТ 8509–72*; 2. Полоса 100 × 250 × 8; 3. Полоса 100 × 8. Автор схемы А. В. Куршпель. 2018 г.

- детельствует о различных причинах их образования: от отрыва, от раскалывания и от действия главных напряжений, приводящих к выкалыванию части объема бетона в форме усеченной пирамиды.
- 4 В статье рассмотрены причины образования трещин в фундаментах, в зонах расположения анкерных болтов, и представлены инженерные расчеты, позволяющие определить прочность бетона при действии динамических нагрузок. Авторами предложен новый метод расчета прочности фундаментов при выкалывании бетона анкерным болтом, отличающийся от представленного в нормативном документе [5].

Список использованной литературы

- 1 ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического со-

- стояния. — М.: Стандартинформ, 2014.
- 2 ГОСТ 17624–87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. — М.: Стандартинформ, 2010.
- 3 ГОСТ 22690–2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. — М.: Стандартинформ, 2016.
- 4 СП 63.13330–2017. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. С изменением №1 М., 2017.
- 5 СТО 36554501–0.48–2016. Анкерные крепления к бетону. Правила проектирования. Кн. 2. — М.: АО «НИЦ» Строительство, 2017.
- 6 Алмазов В. О., Забегаев А. В., Попов Н. Н. и др. Прогнозирование поведения железобетонных конструкций при сложных воздействиях природного и техногенного

- характера // Изв. высших учебных заведений. Строительство. — 1994. — № 11. — С. 10–15.
- 7 Гузев Е. А., Леонович С. Н., Милованов А. Ф. и др. Разрушение бетона и его долговечность. — Минск: Тьдзень, 1997. — 170 с.
 - 8 Гучкин И. С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: учеб. пособие. — М.: Изд-во АСВ, 2001. — 176 с.
 - 9 Зайцев Ю. В. Механика разрушения для строителей: учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 1991. — 288 с.
 - 10 Карпенко Н. И. Теория деформирования бетона с трещинами. — М.: Стройиздат, 1976. — 208 с.
 - 11 Бондаренко В. М., Боровских А. В. Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений. — М.: ИД Русанова, 2000. — 144 с.
 - 12 Пирадов К. А., Гузев Е. А. Механика разрушения железобетона. — М.: НИИЖБ, 1998. — 190 с.
 - strukcij: ucheb. posobie. — М.: Изд-во ASV, 2001. — 176 с.
 - 9 Zajcev Yu. V. Mekhanika razrusheniya dlya stroitelej: ucheb. posobie. — М.: Vysshaya shkola, 1991. — 288 s.
 - 10 Karpenko N. I. Teoriya deformirovaniya betona s treshchinami. — М.: Strojizdat, 1976. — 208 s.
 - 11 Bondarenko V. M., Borovskih A. V. Iznos, povrezhdeniya i bezopasnost' zhelezobetonnyh sooruzhenij. — М.: ID Rusanova, 2000. — 144 s.
 - 12 Piradov K. A., Guzeev E. A. Mekhanika razrusheniya zhelezobetona. — М.: NIIZHB, 1998. — 190 s.

References

- 1 GOST 31937–2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. — М.: Standartinform, 2014.
- 2 GOST 17624–87. Betony. Ul'trazvukovoy metod opredeleniya prochnosti. — М.: Standartinform, 2010.
- 3 GOST 22690–2015. Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya. — М.: Standartinform, 2016.
- 4 СП 63.13330–2017. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 52-01-2003. S izmeneniyem № 1. М., 2017.
- 5 STO 36554501–0.48–2016. Ankernye krepleniya k betonu. Pravila proektirovaniya. Kn. 2. — М.: АО «NIC» Stroitel'stvo, 2017.
- 6 Almazov V. O., Zabegaev A. V., Popov N. N. i dr. Prognozirovanie povedeniya zhelezobetonnykh konstrukcij pri slozhnykh vozdejstviyah prirodnogo i tekhnogennogo haraktera // Izv. vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. — 1994. — № 11. — С. 10–15.
- 7 Guzeev E. A., Leonovich S. N., Milovanov A. F. i dr. Razrushenie betona i ego dolgovechnost'. — Мinsk: Tydzen', 1997. — 170 s.
- 8 Guchkin I. S. Diagnostika povrezhdenij i vosstanovlenie ekspluatatsionnykh kachestv kon-

Статья поступила в редакцию в июле 2020 г.

Опубликована в декабре 2020 г.

Alexey Kurshpel

Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of building structures and construction production, Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: akurshpel@yandex.ru

Vladimir Kurshpel

Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of building structures and soil mechanics, Ural Federal University (UrFU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: vkurshpel@yandex.ru