

# ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВКЛЕЙКИ ПОПЕРЕЧНЫХ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ HILTI HZA-P



**Ершов М.Н.**  
Кафедра "Технология и организация строительного производства", МГСУ, профессор, к.т.н.

**Мушкин А.В.**  
Кафедра "Технология и организация строительного производства", МГСУ, аспирант, инженер компании Hilti

## Design Method for Post-Installed Punching Shear Reinforcement with Hilti Tension Anchors HZA-P

**Аннотация:** Представленная технология разработана компанией Hilti в сотрудничестве с группой инженеров Мигелем Фернадосом Руицем, Аурелио Муттони и Якобом Кунцем для расчета необходимости, а так же устройства усиления железобетонных плит перекрытий на продавливание.

**Abstracts:** The present technology developed by Hilti company in association with a team of engineers Fernandos Miguel Ruiz, Aurelio Muttoni and Jacob Kunz for Design and reinforced concrete slabs strengthening for punching.

**Ключевые слова:** Продавливание (Прокалывание), Усиление, Арматурные стержни Hilti HZA-P.

**Key Words:** Punching, Strengthening, Anchors Hilti HZA-P.

УДК 624.012.45

В настоящее время значительное количество существующих плит перекрытий нуждаются в усилении против продавливания, несмотря на то, что внешне здания и сооружения могут не подавать никаких признаков возможного обрушения таких, как появление трещин, прогибов или других деформаций.

Причин для обрушения может быть несколько. Это несоблюдение критериев безопасности, повышение полезной нагрузки, или просчёты при проектировании или возведении здания. Немаловажным фактом является и возраст железобетонной конструкции. Усиление конструкций может потребоваться так же и с целью приведения их в соответствие с более высокими требованиями такими, как увеличение нагрузки на перекрытие.

За последние десятилетия произошел ряд происшествий по причине «продавливания» плиты перекрытия и последующим обрушением конструкций.

Рассмотрим некоторые из этих происшествий.



**Рис.1.1981 год.**  
**Трагический случай в Швейцарии, г. Блухе.**

Происходит обрушение плиты перекрытия под земной гараж-стоянке.



**Рис.2. 25 Июня 1995 года. г. Сеул.**  
Причиной последовательного обрушения плит перекрытий стало продавливание колонной верхней плиты перекрытия и последовательное, полное обрушение

многофункционального торгового центра, которое за несколько секунд унесло жизни более 500 человек.



**Рис.3. 20 марта 1997 года.**  
**Великобритания, г. Вулверхэмптон.**  
**Частичное обрушение многоуровневой парковки**



**Рис.4. 27 ноября 2004 года, Швейцария, г. Гретценбах.**  
**Обрушение во время пожара в гараже-стоянке.**

Спустя примерно 90 минут после возгорания произошло продавливание возле одной из колонн и затем, мгновенно

распространившись на другие колонны, привело к обрушению всей конструкции и гибели семи пожарных, работавших внутри.

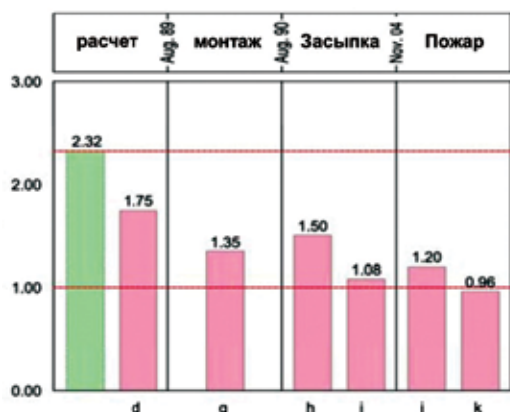
Причиной этой трагедии послужило несколько факторов, не только пожар (воздействие которого было незначительным), но так же перегрузка конструкции (было засыпано больше грунта, чем требовалось), слишком грубые расчёты прочности на продавливание (некоторые из них согласно нормам применялись во время проектирования гаража), и неточности выполнения работ при строительстве. В дополнение толщина плиты, большой процент армирования и тот факт, что плита не имела поперечного армирования сильно ограничило способность плиты сопротивляться деформациям.

Происшествие в Гретценбахе заставило задуматься о безопасности существующих плит перекрытий и различных способах как усилить их от продавливания.

Был проведен подробный анализ причин обрушения и вот выдержка из отчета (см.рис.5):

Таким образом, видно, что запас прочности снижался по целому ряду нарушений технологии строительного производства, а пожар стал окончательной

причиной обрушения. Обрушение плит перекрытий без поперечного усиления в результате продавливания показывает, что такая модель разрушения очень опасна.



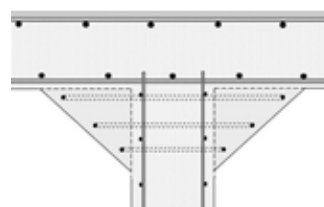
**Рис.5. Результаты расследования причин обрушения:**  
**d) ошибки при проектировании**  
**g) ошибки при строительстве**  
**h) расчетный запас прочности после засыпки плиты слоем грунта**  
**i) реальный запас прочности из за увеличенного при засыпке слоя грунта.**  
**j) запас прочности до возникновения пожара**  
**k) пожар**

Продавливание происходит вокруг колонны в результате разрушения бетона и приводит к мгновенному обрушению несущей плиты перекрытия. Такое поведение плиты ведёт к тому, что отсутствуют какие либо предупреждающие об опасности признаки, повышающие чувствительность конструкции к деформациям и приводящие к ограниченному распределению внутренних усилий передаваемых по плите, и в конце концов приводит к полному обрушению конструкции. (Муттони А., Фюрст А., Хункеллер Ф., «Экспертный доклад о причинах обрушения» в средствах массовой информации от 15 ноября 2005 года.)

Некоторые типовые решения усиления против продавливания показаны на рисунках. Они заключаются в увеличении зоны опирания путем добавления дополнительных капителей на колонне или увеличение сечения колонн. Усиление путем гнутой арматуры, бетонирование, вклеивание арматуры или установка арматуры, работающей на срез. Эти методы могут быть, тем не менее, довольно непрактичными во многих случаях так, как требуют доступа к верхней поверхности плиты, которая, как правило, покрыта слоем грунта или уже сделана отделка полов или требуется увеличение площади опирания, которое невозможно по архитектурным или пространственным требованиям. Доступные методы, тем не менее, не вполне удовлетворяют или не всегда могут быть использованы по ряду причин.

Существующие технологии усиления:

1. Увеличение расчетного периметра  
Недостатки — затруднения при устройстве опалубки и бетонировании, а так же уменьшение объема помещения. (см. рис.6)



**Рис.6. Увеличение расчетного параметра**

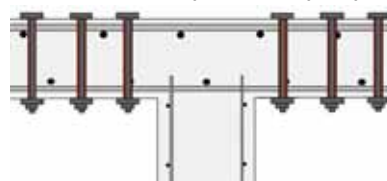
2. Увеличение расчетной высоты плиты перекрытия.



**Рис.7. Увеличение расчетной высоты плиты.**

Недостатки — затруднения при устройстве опалубки и бетонировании, создание бетонных уступов и уменьшение объема помещения. Необходимость освобождения верхнего помещения для проведения работ по бетонированию. Затруднение доступа к стилоблатной части плиты перекрытия в случае, если она уже засыпана грунтом. (см.рис.7)

3. Добавление поперечного армирования.



**Рис.8. Добавление поперечного армирования**

Метод, разработанный Американским институтом и впоследствии подтвержденный испытаниями в НИИЖБ. Несмотря на то, что это довольно эффективный способ усиления плиты перекрытия от продавливания, он имеет свои недостатки — это выступающие части болтов сверху и снизу плиты, которые требуют дополнительных работ по косметической отделке и необходимость дополнительной защиты стальных болтов на случай пожара. Для установки стальных болтов в плите пробуриваются сквозные отверстия и остается вероятность спровоцировать преждевременное обрушение, так как расчетное сечение плиты в результате сквозного перфорирования ослабляется. (см.рис.8)

Компания Hilti предлагает более изящное инженерное решение для усиления плит перекрытий от продавливания. Это инновационная технология лишённая многих перечисленных выше побочных эффектов.

Технология усиления плит перекрытий от продавливания Hilti заключается в наклонном усилении арматурными стержнями, устанавливаемыми в существующую плиту путём бурения отверстий с нижней стороны плиты перекрытия и вклейки стержней с помощью высокопрочного химического состава на основе эпоксидной смолы. Технические характеристики системы подтверждены результатами испытаний, показывающими значительное увеличение сопротивления продавливанию, (подтверждена необходимая прочность) и увеличение сопротивления деформации (позволяющее распределить усилия и избежать обрушения).

Первые результаты испытаний 12-ти полноразмерных плит перекрытий 3.0x3.0x0,25метра показывают, что такое усиление является эффективным методом усиления плит перекрытий как по прочности так и по деформативности: (см. рис.9, 10, 11)



Рис.9. Характер разрушения плит перекрытия без усиления.



Рис.10. Характер разрушения усиленных плит перекрытия.

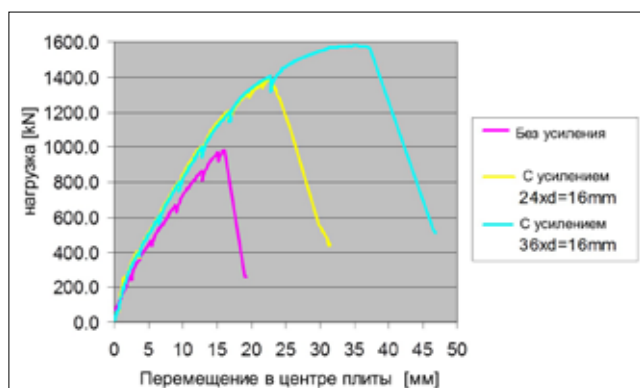


Рис.11. Графическое отображение несущей способности на продавливание усиленных плит и не усиленных.

Результаты испытаний 12-ти плит перекрытий показали, что система усиления позволяет значительно увеличить прочность плиты и её сопротивление деформациям. Последовательный расчет так же представлен. Расчет основан на теории критических поперечных трещин и позволяет принять во внимание свойства вклеенных стержней.

Одним из первых успешных применений технологии усиления плит перекрытий от продавливания Hilti стала огромная привокзальная площадь перед центральной железнодорожной станцией в г. Берн (Швейцария), известной как Bahnhofplatz, находящейся на краю исторической, старой части города. В преддверии проведения Чемпионата Европы по футболу в июне 2008 года предстояла масштабная реконструкция всего архитектурного ансамбля, чтобы придать этому месту, которое должно стать так же и центром проведения массовых мероприятий вид, достойный столицы. В рамках проекта по реконструкции предполагалось возвести инновационный, светлый и просторный стеклянный купол, который одновременно был бы своеобразными воротами

в старую часть города Берна, при этом такая смелая концепция должна подчеркнуть исторические и архитектурные наследия площади. По функциональным требованиям это место должно было стать крупным пересадочным узлом общественного транспорта, расположенного на пересечении основных транспортных потоков в центре города. Предполагаемая мощность этого узла до 200000 человек ежедневно. Такое увеличение транспортных потоков и большое скопление людей на массовых мероприятиях предполагает значительное увеличение нагрузки на плиту перекрытия, под которой расположена парковочная зона. Уже после начала реализации проекта по реконструкции проведенные расчеты показали, что плита перекрытия может не выдержать такого увеличения нагрузки и возможно продавливание плиты колоннами, что неизбежно приведет к масштабному обрушению и жертвам.

Группа инженеров Hilti начала работу по поиску технологии по усилению плиты в сотрудничестве со специалистами Швейцарского федерального технологического института (ETH) в Лозанне, и реализовало совершенно новую технологию усиления в рекордно короткие сроки.

Специалисты Швейцарского федерального технологического института изучили решение, предлагаемое инженерами Hilti и сделали заключение, что именно эта инновационная технология усиления может быть использована в данном случае.

Для оптимизации расчетов количества, диаметра и глубины посадки армирующих стержней была разработана программа расчета, в которую вводятся исходные данные о расчетной нагрузке на колонну, расчетной нагрузке на плиту, класс бетона, размеры колонны и плиты и остальные параметры для расчета.

Результатом расчета является в первую очередь проверка необходимости усиления существующей плиты перекрытия на продавливание. И в случае, если несущей способности плиты на продавливание недостаточно, то предлагается схема усиления плиты перекрытия с указаниями на плане какое количество, какого диаметра и на какую глубину необходимо вклеить армирующие стержни.(см. рис.12)

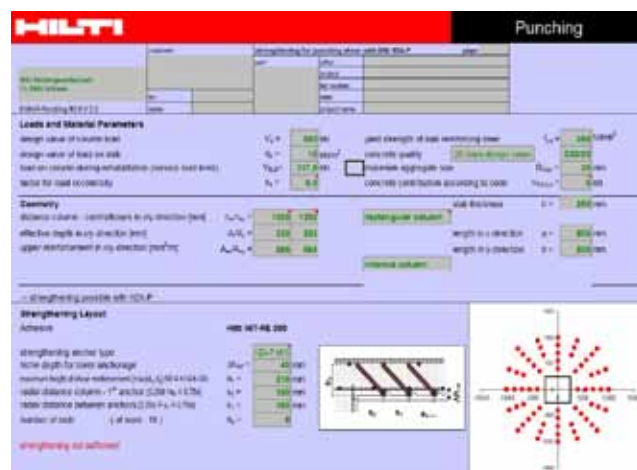


Рис.12. Результат расчета плиты перекрытия на продавливание.



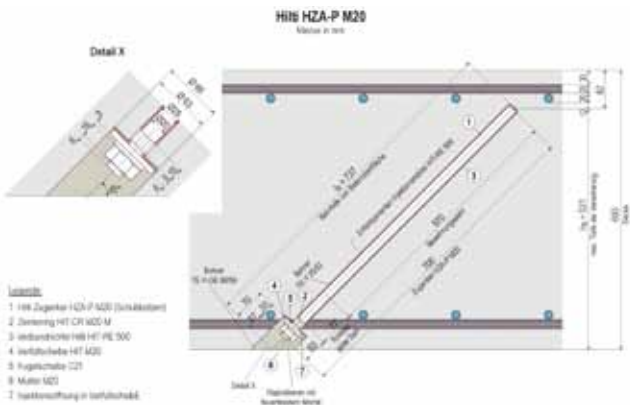


Рис.13. Детальная схема установки армирующего стержня Hilti HZA-P

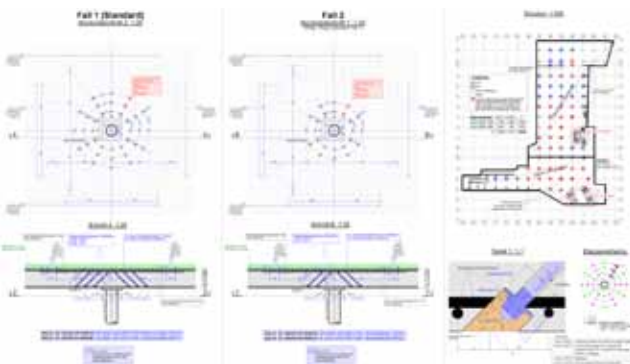


Рис.14. Схема расположения узлов, требующих усиления плиты перекрытия от продавливания.



Рис.15. Бурение отверстия в потолке под углом 45°

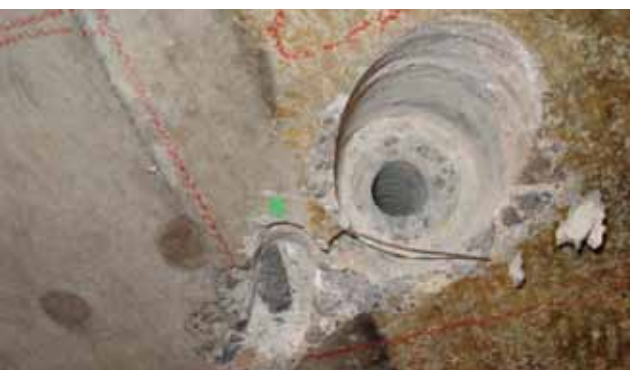


Рис.16. Пробуренное отверстие с расширенной горловиной под анкер.



Рис.17. Установленные в плиту анкеры



Рис.18. Вид снизу на плиту перекрытия после проведения работ по усилению.

Новая технология позволяет клеивать специальные анкеры с помощью химического состава Hilti HIT-RE 500 в отверстия, просверленные в нижней части плиты под углом. Арматурные стержни в этом случае устанавливаются снизу и утапливаются в плите перекрытия. (см. рис.19)

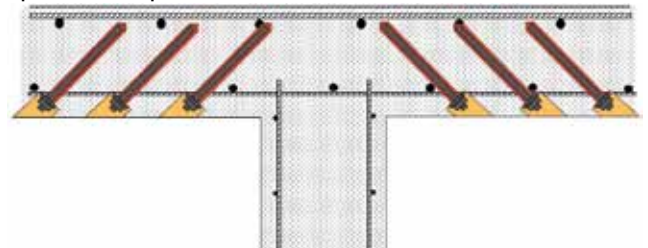


Рис.19. Схема усиления плиты перекрытия на продавливание

Для бурения отверстий под углом была использована специально сконструированная станина. (см. рис.15)

Для обеспечения необходимой несущей способности арматурные стержни должны быть установлены абсолютно точно на необходимую глубину. Любые отклонения от проектных или неточно пробуренные отверстия или отверстия, смещенные из за попадания при бурении на арматуру, тщательно восстанавливались за счет установки арматурной заглушки и герметичной пробки. Для того, чтобы не спровоцировать обрушение плиты установка анкеров проводится поэтапно через ряд согласно схеме:

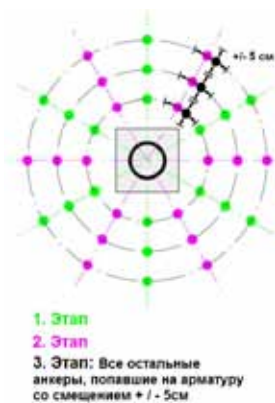


Рис.20. Схема поэтапной вклейки.

Сначала устанавливаются анкеры в отверстия помеченные зеленым цветом, затем в отверстия отмеченные красным цветом. В последнюю очередь устанавливаются стержни, имеющие смещение в результате попадания на арматуру.

Параллельно велся журнал позиционирования каждого стержня и его отклонения от проектного положения, если таковое имело место.

Каждый стержень имел длину, соответствующую глубине пробуренного отверстия и имел соответствующую маркировку. (см. рис. 21)



Рис.21. Промаркированные стержни, подготовленные для вклейки в отверстия

Использование технологии усиления Hilti не создало абсолютно никаких помех для других работ на строительной площадке так, как никаких земляных работ в этом случае не производилось и вся работа была выполнена со стороны парковки снизу.

Так же благодаря технологии усиления Hilti не требуется проводить дополнительные мероприятия по обеспечению пожарной защиты данного усиления. Отверстия просто заполняются противопожарным раствором Hilti на основе цементно-песчаной смеси. Ещё одним очевидным преимуществом этой инновационной и экономически эффективной технологии стало отсутствие сбоя в общем графике производства работ, и работы по реконструкции всего комплекса Bahnhofplatz продолжались параллельно с проведением работ по усилению на нижнем ярусе.

(Муттони А., Фернандес Руис М.: Метод расчета вклеенных стержней Hilti HZA при усилении на продавливание Федеральный политехнический институт Лозанны, 2007 год.)

В настоящее время российские инженеры компании Hilti разработали стандарт организации на Hilti технологию усиления плит перекрытий совместно с НИИЖБ им. А. А. Гвоздева под названием "Проектирование усиления плит на продавливание химическими

анкерами Hilti HZA-P", в котором подробно описан метод проектирования.

Применение технологии усиления плит перекрытий от продавливания Hilti позволяет:

- Повысить эксплуатационную надежность и безопасность плитных железобетонных конструкций и их узловых соединений при проведении работ по монтажу и усилению;
- Существенно снизить расход стали и сократить сроки выполнения строительных работ при усилении конструкций по сравнению с типовыми методами усиления;
- Снизить нагрузки на усиливаемые конструкции от собственного веса элементов усиления.

### Примеры расчета

#### 1. Пример расчета системы усиления Hilti HZA-P плиты перекрытия над крайней колонной

Исходные данные:

Размеры поперечного сечения крайней колонны — 400x400 мм.

Толщина железобетонной плиты — 220 мм, рабочая высота плиты — 184 мм.

Класс бетона по прочности — В25.

Максимальный размер наполнителя — 20 мм.

Верхнее армирование плиты — Ø20 A400/200x200.

Нагрузки на плиту:  $F = 250$  кН;  $M_{loc, x} = 30$  кН·м;  $M_{loc, y} = 50$  кН·м;

Расчет на продавливание

Несущая способность плиты на продавливание определяется из условия прочности:

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult}} \leq 1 \quad (1)$$

$F, M_x (y)$  — действующие сосредоточенные силы и моменты;

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot u \cdot h_0 \quad (2)$$

— предельное усилие, которое может воспринять бетон расчетного сечения

$$M_{bx(y),ult} = R_{bt} \cdot W_{bx(y)} \cdot h_0 \quad (3)$$

— предельный момент, который может воспринять бетон расчетного сечения

$$M_{x(y)} = \frac{M_{loc,x(y)} - F \cdot e_{y(x)}}{2} \quad (4)$$

— момент, учитываемый при расчете на продавливание.

Согласно СП 52-101-2003 для бетона В25  $R_b = 14,0$  МПа,  $R_{bt} = 1,05$  МПа.

Периметр расчетного сечения при расчете на продавливание:

$$u = (a + h_0) + 2 \cdot \left( a + \frac{h_0}{2} \right) = (400 + 184) + 2 \cdot \left( 400 + \frac{184}{2} \right) = 1568 \text{ мм} \quad (5)$$

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot u \cdot h_0 = 1,05 \cdot 1568 \cdot 184 / 1000 = 303 \text{ кН}; \quad (6)$$

$W_b$  — момент сопротивления расчетного сечения относительно центра тяжести.

$W_{bx} = 344171 \text{ мм}^2$ ,  $W_{by} = 124343 \text{ мм}^2$ . Эксцентриситет приложения нагрузки относительно центра тяжести расчетного сечения —  $e_x = 138 \text{ мм}$ ,  $e_y = 0 \text{ мм}$ .

Определяем предельный момент, который может воспринять бетон расчетного сечения:

$$M_{bx,ult} = R_{bt} \cdot W_{bx} \cdot h_0 = 1,05 \cdot 344171 \cdot 184 / 10^6 = 66,5 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (7)$$

$$M_{by,ult} = R_{bt} \cdot W_{by} \cdot h_0 = 1,05 \cdot 124343 \cdot 184 / 10^6 = 24 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (8)$$

Действующие сосредоточенные моменты, принимаемые для расчета на продавливание с учетом дополнительного момента от внецентренного приложения сосредоточенной силы относительно центра тяжести контура расчетного поперечного сечения:

$$M_x = \frac{30 - 250 \cdot 0}{2} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (9)$$

$$M_y = \frac{50 - 250 \cdot 0,138}{2} = 7,75 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (10)$$

Проверяем условие прочности:

$$\frac{250}{303} + \frac{15}{66,5} + \frac{7,75}{24} = 1,37 > 1 \quad (11)$$

Условие прочности не выполняется, необходимо выполнить усиление плиты на продавливание. Усиление плиты выполняем по следующей схеме, показанной на рисунке (см. рис.11) с соблюдением всех конструктивных требований по установке поперечной арматуры.

Поперечная арматура из HZA-P M16. Клеевой раствор — Hilti HIT-RE 500. Закладная шайба диаметром 52 мм.

Условие прочности плиты на продавливание с поперечной арматурой:

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult} + M_{swx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult} + M_{swy,ult}} \leq 1 \quad (12)$$

Предельное усилие, которое может воспринять расчетное поперечное сечение, определяется по формуле:

$$F_{sw} = \left( \sum_{i=1}^n F_{sw,i} \right) \cdot \sin(\alpha) \quad (13)$$

где  $F_{sw,i} = \min(F_{sw,i}^R, F_{sw,i}^{bond}, F_{sw,i}^{pul})$

$$F_{sw,i}^R = 0,8 \cdot R_{sw,i} \cdot A_{sw,i} \quad (14)$$

— усилие сопротивления в арматуре при разрушении по стали.

Для всех рядов арматуры

$$F_{sw,1,(2),(3)}^R = 0,8 \cdot 350 \cdot 201 / 1000 = 56,3 \text{ кН} \quad (15)$$

$$F_{sw,i}^{bond} = \tau_{bd} \cdot d_s \cdot \pi \cdot l_{b,sup,i} \quad (16)$$

— усилие сопротивления клеевого состава.

$\tau_{bd} = 2,8 \text{ МПа}$  (согласно СТО 36554501–023–2010)

$$F_{sw,1}^{bond} = 2,8 \cdot 16 \cdot 3,14 \cdot 177 / 1000 = 24,9 \text{ кН}$$

$$F_{sw,2}^{bond} = 2,8 \cdot 16 \cdot 3,14 \cdot 113 / 1000 = 15,9 \text{ кН}$$

$$F_{sw,3}^{bond} = 2,8 \cdot 16 \cdot 3,14 \cdot 50 / 1000 = 7 \text{ кН} \quad (17)$$

усилие сопротивления выкалыванию бетона под анкерной шайбой на нижнем конце арматуры HZA-P, [МН], [м]:

$$F_{sw,i}^{pul} = 0,2 \cdot A_{s,i} \cdot \sqrt{R_o} \cdot \frac{l_{b,inf,i}^{1,5}}{d_{s,i}^2} \left( 1 + \frac{d_{inf,i}}{l_{b,inf,i}} \right) \quad (18)$$

$$F_{sw,1}^{pul} = 0,2 \cdot 0,0002 \cdot \sqrt{14,5} \cdot \frac{0,031^{1,5}}{0,016^2} \left( 1 + \frac{0,052}{0,031} \right) \cdot 1000 = 8,7 \text{ кН}$$

$$F_{sw,2}^{pul} = 0,2 \cdot 0,0002 \cdot \sqrt{14,5} \cdot \frac{0,094^{1,5}}{0,016^2} \left( 1 + \frac{0,052}{0,094} \right) \cdot 1000 = 26,6 \text{ кН}$$

$$F_{sw,3}^{pul} = 0,2 \cdot 0,0002 \cdot \sqrt{14,5} \cdot \frac{0,158^{1,5}}{0,016^2} \left( 1 + \frac{0,052}{0,158} \right) \cdot 1000 = 49,7 \text{ кН}$$

$$F_{sw,1} = \min(56,3, 24,9, 8,7) = 8,7 \text{ кН}$$

$$F_{sw,2} = \min(56,3, 15,9, 26,6) = 15,9 \text{ кН}$$

$$F_{sw,3} = \min(56,3, 7,0, 49,7) = 7 \text{ кН} \quad (19)$$

Отсюда усилие, которое может воспринять поперечная арматура при продавливании, вычисляется по формуле:

$$F_{sw} = (8,7 + 15,9 + 7) \cdot 5 \cdot 0,707 = 158 \text{ кН} \quad (20)$$

Предельный момент, который может воспринять расчетное сечение, определяем по формуле:

$$M_{swx(y),ult} = \frac{F_{sw} \cdot W_{swx(y)}}{u}, \text{ где } W_{swx(y)} = W_{bx(y)}$$

$$M_{swx,ult} = \frac{158 \cdot 344171}{1568 \cdot 1000} = 34,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{swy,ult} = \frac{158 \cdot 124343}{1568 \cdot 1000} = 15,5 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (21)$$

Условие прочности плиты с поперечной арматурой на продавливание

$$\frac{250}{303 + 158} + \frac{15}{66,5 + 34,7} + \frac{7,75}{24 + 15,5} = 0,89 < 1. \quad (22)$$



Условие прочности выполняется, несущая способность плиты на продавливание в зоне поперечного армирования обеспечена. Необходимо проверить несущую способность на продавливание расчетного поперечного сечения за контуром поперечного армирования.

Условие прочности:

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult}} \leq 1 \quad (23)$$

Периметр расчетного поперечного сечения за контуром поперечного армирования при расчете на продавливание:

$$u_2 = \pi \left( \frac{a}{2} + s_0 + 3s + \frac{h_0}{2} \right) + a = 2545 \text{ мм} \quad (24)$$

$$F_{b,ult} = R_{br} \cdot u_2 \cdot h_0 = 1,05 \cdot 2545 \cdot 184 / 1000 = 492 \text{ кН}; \quad (25)$$

Действующие сосредоточенные моменты, принимаемые для расчета на продавливание с учетом дополнительного момента от внецентренного приложения сосредоточенной силы относительно центра тяжести контура расчетного поперечного сечения:

$$M_x = \frac{30 - 250 \cdot 0}{2} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (26)$$

$$M_y = \left| \frac{50 - 250 \cdot 0,341}{2} \right| = 17,6 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (27)$$

## Список литературы:

1. Муттони А., Фюрст А., Хункеллер Ф., «Экспертный доклад о причинах обрушения» в средствах массовой информации от 15 ноября 2005 года.
2. Рэндль Н., Мюнгер, Ф., Вике, М., «Усиление мостовых сооружений из железобетона», издание «Бау Инженер». Издание 4/2005.
3. Ментетрей Ф, Брюхвайлер Е., «Усиление существующих железобетонных плит на срез при действии сосредоточенных нагрузок» Федеральный политехнический институт Лозанны издание 1996 года (École polytechnique fédérale de Lausanne — EPFL) — Repro — 1996
4. Гасанзаде Г., «Усиление мостовых плит на продавливание», диссертация магистра гражданского инженера, КТН, Стокгольм, 1995 (на шведском языке)
5. Муттони А., Фернандес Руис М.: Метод расчета вклеенных стержней Hilti HZA при усилении на продавливание Федеральный политехнический институт Лозанны, 2007 год.
6. Стандарт организации «проектирование усиления плит на продавливание химическими анкерами «Hilti HZA-P» НИИЖБ им. А. А. Гвоздева

$W_b$  — момент сопротивления расчетного сечения относительно центра тяжести.

$$W_{bx} = 928552 \text{ мм}^2 \text{ и } W_{by} = 325028 \text{ мм}^2$$

Эксцентриситет приложения нагрузки относительно центра тяжести расчетного сечения —  $e_x = 341 \text{ мм}$ ,  $e_y = 0 \text{ мм}$ .

Определяем предельный момент, который может воспринять бетон расчетного сечения:

$$M_{bx,ult} = R_{br} \cdot W_{bx} \cdot h_0 = 1,05 \cdot 928552 \cdot 184 / 10^6 = 180 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (28)$$

$$M_{by,ult} = R_{br} \cdot W_{by} \cdot h_0 = 1,05 \cdot 325695 \cdot 184 / 10^6 = 63 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (29)$$

Условие прочности плиты с поперечной арматурой на продавливание с учетом того, что соотношение между действующими сосредоточенными моментами и предельными должно быть не больше соотношения между действующим сосредоточенным усилием и предельным, принимает вид:

$$\frac{250}{492} + \frac{15}{180} + \frac{17,6}{63} = 0,87 < 1. \quad (30)$$

Условие прочности выполняется, несущая способность плиты перекрытия на продавливание обеспечена. (Стандарт организации «проектирование усиления плит на продавливание химическими анкерами «Hilti HZA-P» НИИЖБ им. А. А. Гвоздева)

## Spisok literatury

1. Muttoni A., Fjurst A., Hunkeller F., «Jekspertnyj doklad o prichinah obrushenija» v sredstvah massovoj informacii ot 15 nojabrja 2005 goda.
2. Rjendl' N., Mjunger, F., Vike, M., «Usilenie mostovyh sooruzhenij iz zhelezobetona», izdanie "Bau Inzhener". Izdanie 4/2005.
3. Mentetrej F, Brjuhvajler E., "Usilenie sushhestvujushih zhelezobetonnyh plit na srez pri dejstvii sosredotochennyh nagruzok" Federal'nyj politehnicheskij institut Lozanny izdanie 1996 goda (École polytechnique fédérale de Lausanne — EPFL) — Repro — 1996
4. Gasanzade G., "Usilenie mostovyh plit na prodavlivanie", dissertacija magistra grazhdanskogo inzhenera, KTH, Stokgol'm, 1995 (na shvedskom jazyke)
5. Muttoni A., Fernandes Ruis M.: Metod rascheta vkleennyh sterzhnej Hilti HZA pri usilenii na prodavlivanie Federal'nyj politehnicheskij institut Lozanny, 2007 god.
6. Standart organizacii «proektirovanie usilenija plit na prodavlivanie himicheskimi ankerami «Hilti HZA-P» NIIZhB im. A. A. Gvozdeva