

**Кремнев Александр Павлович**, канд. техн. наук, доцент,  
УО «Полоцкий государственный университет»,  
г. Новополоцк (Беларусь)

**Гринев Венедикт Демьянович**, канд. техн. наук, доцент,  
УО «Полоцкий государственный университет»,  
г. Новополоцк (Беларусь)

**Трубач Юрий Владимирович**, магистр техн. наук, ассистент,  
УО «Полоцкий государственный университет»,  
г. Новополоцк (Беларусь)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ СТЫКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ФУНДАМЕНТА И НАБЕТОНКИ С ЖЕСТКИМ АРМИРОВАНИЕМ**

### **EXPERIMENTAL STUDY STRENGTH AND STIFFNESS OF BUTT JOINTS REINFORCED CONCRETE FOUNDATION AND FOOTINGS HARD REINFORCEMENT**

#### **АННОТАЦИЯ**

*Выполнен анализ конструктивных решений, обеспечивающих совместную работу элементов существующих фундаментов и бетона наращивания. Приведены основные результаты по исследованию несущей способности стыков соединения модели фундамента с элементом усиления (набетонка), армированные при помощи жестких элементов в виде двутавра и швеллера.*

#### **ABSTRACT**

*The analysis of design solutions for collaboration elements of the existing foundations and concrete building. The main results of the study on the bearing capacity of the connection joints of the foundation model with reinforcements (footings), reinforced by rigid elements in the form of an I-beam and channel bar.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

От прочности и несущей способности фундамента зависит устойчивость и целостность всего здания, поэтому при реконструкции зданий и сооружений зачастую возникает необходимость усиления фундамента. Наиболее часто данную задачу приходится решать при надстройке дополнительных этажей, увеличении пролета между несущими конструкциями, изменения схемы опирания элементов

перекрытий и т.д. Усиление фундаментов производят также для стабилизации неравномерных деформаций грунтовых оснований здания, находящегося в аварийном состоянии.

Как показывает практика строительства, работы по усилению фундаментов трудоемкие и достаточно дорогостоящие. Стоимость работ по усилению фундаментов может составлять более половины стоимости всех работ по реконструкции здания. Во многих случаях реконструкция, связанная с усилением фундаментов, становится экономически нецелесообразной.

Разработка новых конструктивных решений усиления фундаментов, отвечающих требованиям технологичности, безопасности, минимальной материалоемкости и трудоемкости позволит значительно снизить стоимость данных работ и сделать проекты по реконструкции зданий более привлекательными для инвесторов.

### **Метод усиления ленточных фундаментов путем пересадки на сваи**

Существенного повышения несущей способности существующих фундаментов можно достигнуть путем подведения свай и обеспечения их совместной работы с фундаментом. При усилении фундаментов реконструируемых зданий, как правило, используются:

- вдавливаемые многосекционные сваи;
- буронабивные сваи;
- буроинъекционные сваи.

Многосекционные сваи выполняются из сборных железобетонных или сталежелезобетонных элементов, соединяемых по мере погружения свай в грунт. Для погружения многосекционных свай не требуется громоздкое оборудование. Вдавливание свай производят при помощи гидравлических домкратов, упираемых в вышерасположенные конструкции реконструируемого здания [1, с. 195].

Буронабивные сваи различных типов обладают высокой несущей способностью и могут применяться в любых грунтовых условиях. Из-за громоздкости оборудования, применяемого при устройстве буронабивных свай, область их применения ограничена. Буронабивные сваи применяются при усилении фундаментов по внешнему периметру реконструируемого здания, могут устраиваться под наклоном к оси фундамента.

Буроинъекционные сваи также применяются в любых грунтовых условиях. Технология устройства таких свай позволяет проводить ра-

боты в стесненных условиях. Буроинъекционные сваи применяются при увеличении как вертикальных, так и горизонтальных нагрузок на фундамент, для стабилизации неравномерных осадок [2, с. 243].

При усилении ленточных фундаментов сваи, как правило, располагаются параллельными рядами с обеих сторон фундамента, т.е. делаются выносными. Расстояние между сваями в поперечном направлении определяется шириной фундамента, а также удобством расположения бурового оборудования.

Наиболее распространенная технология устройства буронабивных и буроинъекционных свай включает бурение и крепление стенок скважин, бетонирование или заполнение раствором, извлечение обсадной трубы, инъекционное упрочнение забоя и стенок скважин.

### **Анализ конструктивных решений, обеспечивающих совместную работу элементов существующих фундаментов и бетона наращивания**

Основной задачей при усилении фундамента с помощью свай является обеспечение их совместной работы с усиливаемым фундаментом. Узел сопряжения старого бетона фундамента и нового бетона свайного ростверка должен обладать соответствующей прочностью и жесткостью. Совместная работа элементов усиления ленточных фундаментов с существующей конструкцией обеспечивается несколькими методами:

- 1) устройством бетонных шпонок, выступов в углублениях существующего фундамента или несущих конструкций здания;
- 2) устройством анкеров, заделанных в теле существующего фундамента;
- 3) устройством сквозной арматуры;
- 4) сваркой арматуры элементов уширения с оголенной арматурой усиливаемого фундамента;
- 5) при помощи специальных опорных элементов: подкосов, разгружающих металлических или железобетонных балок.

При использовании жесткого армирования, металлопрокатный профиль позволит создать жесткое соединение между существующим фундаментом и конструкцией усиления, что даёт возможность элементам усиления сразу же включиться в работу, без первичных деформаций, которые могут негативно повлиять на существующий

фундамент. Применение жесткого профиля при реконструкции и усилении фундамента имеет значительные преимущества по сравнению с приведенными выше методами обеспечения совместной работы:

1. Жесткий профиль позволяет исключить ослабления конструкции, которую нужно усилить. При данном методе усиления можно избежать ослабления фундамента в тех местах, где запланировано заведение элемента усиления под подошву существующего фундамента. Также можно отказаться от проделывания шпонок и углублений; при данном методе усиления совместная работа нового и старого бетона будет обеспечена благодаря жесткому стержню и поверхности усиливаемой конструкции с выполненной насечкой, что позволит как удешевить усиление, так и избежать излишнего ослабления существующего фундамента.
2. Применение жесткого профиля, по сравнению с анкерами из стержневой арматуры, позволяет избежать даже незначительных перемещений и деформаций элемента усиления относительно существующей конструкции, что не может в полной мере выполнить анкер из стержневой арматуры, заделанный в теле усиливаемого фундамента.
3. При применении жесткого профиля отверстие в теле фундамента устраивается при помощи алмазной коронки, которая не создает вибрационной нагрузки на тело фундамента и не приводит к случайным деформациям, причем отверстие при бетонировании полностью заполняется бетонной смесью и не является зоной ослабления после завершения работ по усилению. При проделывании сквозных отверстий для арматурных стержней, устраиваемых при помощи перфоратора, создается вибрационная нагрузка, распространяемая по телу фундамента, которая может привести к нежелательным ослаблениям. Также проделанное отверстие не может быть полностью заполнено при бетонировании, поэтому является ослабленной зоной после завершения работ по усилению.
4. Метод усиления ленточных фундаментов с использованием жесткого армирования является более механизированным и менее опасным, так как нет необходимости в ослаблении фундамента для заведения конструкции усиления под подошву фундамента; также не надо проделывать шпонки и

углубления в существующем фундаменте, что позволяет не ослаблять усиливаемую конструкцию и избежать травматизма при выполнении работ. Предложенный метод не допускает обрушения конструкции и может производиться без полной разработки грунта до основания фундамента, что в свою очередь исключает выпор грунта и нарушение гидрогеологических условий под существующим фундаментом.

### **Экспериментальное исследование несущей способности ростверка усиления фундамента с жестким армированием**

С целью изучения прочностных и деформационных свойств узла сопряжения с жестким армированием была выполнена серия экспериментальных исследований практически на натуральных образцах.

За исходный образец для испытания принят фундаментный блок серии ФБС 9-6-3. При помощи алмазной коронки в середине блока в поперечном направлении было проделано отверстие для размещения в нём жесткого стержня. Диаметр проделанного отверстия – 160 мм.

Для армирования было выбрано два жестких стержня – швеллер № 6,5 для образца № 1 и двутавр (сваренный из двух швеллеров № 6,5) – для образца № 2, а также, для сравнения, при армировании образца № 3 использовался арматурный каркас из четырех стержней диаметром 16 мм и класса арматуры S240. Все стержни каркаса одинаковы, расстояние между нижней и верхней парами стержней составило 96 мм, а расстояние между правым и левым стержнем – 35 мм. Для поперечного армирования каркаса было принято 3 хомута из арматуры класса S240 с диаметром 6 мм. Сечение каркаса было подобрано так, чтобы геометрические характеристики каркаса совпадали с геометрическими характеристиками сечения из двух швеллеров сваренных стенками.

Передача нагрузки от фундаментного блока (существующего фундамента) при усилении с использованием жесткого армирования осуществляется при помощи жесткого стержня и бетонной дополнительной части фундамента (банкеты). Размер банкеты для испытания был принят 300х300х600. Причем фундаментный блок относительно бетонных элементов усиления (банкет) приподнят на 100 мм.



**Рисунок 1.** Фундаментный блок с армированием одиночным швеллером № 6,5

Всего для испытания было взято 3 блока, что позволило сравнить эффективность использования жесткого армирования с применением различных сечений армирующих элементов. Применяемые типы армирования показаны на рисунках 1, 2 и 3.



**Рисунок 2.** Фундаментный блок с армированием двумя швеллерами № 6,5 сваренными стенками

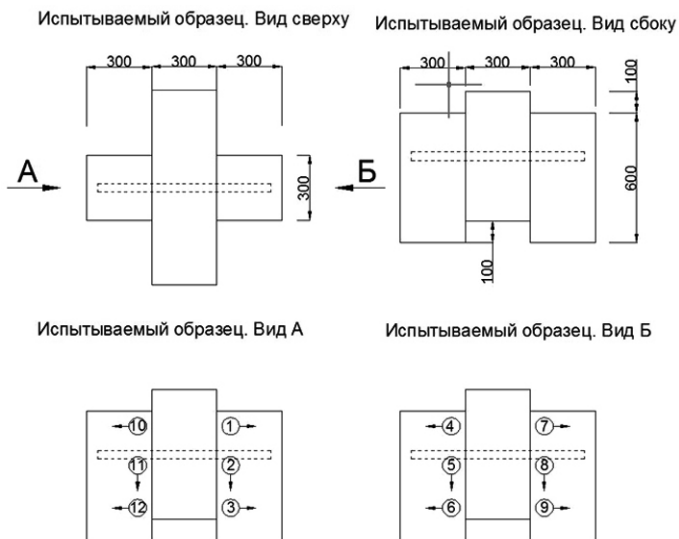
Для бетонирования применялся бетон класса С30/37, что в дальнейшем будет подтверждено результатами испытания отобранных контрольных образцов бетона. Для уплотнения бетонной смеси использовался глубинный вибратор. Усиление элементов было произведено через 3 суток, испытания проводились через 28 суток после производства бетонных работ. Уход за бетоном осуществлялся путем сохранения влажной среды поверхности конструкции, соприкасающейся с открытым воздухом.



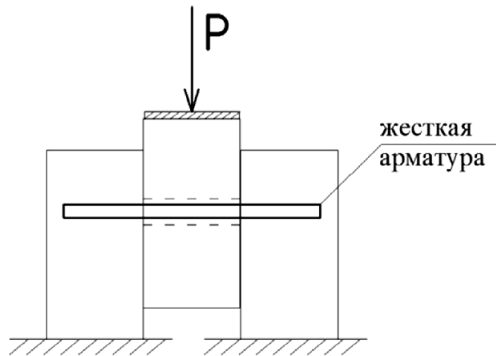
**Рисунок 3.** Фундаментный блок с армированием стержневым каркасом

Испытания проводились на 1000-тонном прессе лаборатории кафедры строительных конструкций УО «ПГУ».

Для испытания было установлено 12 датчиков перемещения (ИЧ–10) в местах наибольших по величине смещений одной точки относительно другой. Расположение датчиков перемещения на испытываемом образце показано на рисунке 4.



**Рисунок 4.** Схема расположения тензометров на испытываемом образце



**Рисунок 5.** Расчетная схема испытываемых образцов

Индикаторы часового типа крепились при помощи зажимного устройства, которое приклеивалось эпоксидным клеем к элементу усиления. Тензометры показывали перемещение элемента усиления относительно фундаментного блока (существующей конструкции).

За первый образец принят фундаментный блок ФБС 9-6-3, усиленный при помощи жесткого стержня – швеллера № 6,5.

Готовый образец поместили под пресс с посадкой его на слой цементно-песчаного раствора. Произвели центровку образца на опорной площадке пресса. Определили геометрический центр фундаментного блока для обеспечения центрального нагружения и исключения неравномерного обжатия образца. Нагрузку прикладывали ступенями по 5 тонн.

Разрушающая нагрузка для образца №1 составила 68 тонн. Первые микротрещины появились при нагрузке 20 тонн у основания фундаментного блока возле датчика №3. При дальнейшем загрузении такие же трещины начали образовываться возле датчика №9. Трещины на протяжении всего испытания незначительно увеличивались. Разрушение в итоге произошло по бетону элемента усиления, который хрупко разрушился из-за продавливания его жестким стержнем – швеллером. Внешний вид образца №1 после испытания приведен на рисунке 6.





**Рисунок 6.** Общий вид образца №1 после испытания

За второй образец принят фундаментный блок ФБС 9-6-3, усиленный при помощи жесткого стержня – двутавра (сваренного из швеллеров № 6,5).

Готовый образец поместили под пресс с посадкой его на слой цементно-песчаного раствора. Произвели центровку образца на опорной площадке пресса. Определили геометрический центр фундаментного блока для обеспечения центрального нагружения и исключения неравномерного обжатия образца. Нагрузку прикладывали ступенями по 5 тонн.

Разрушающая нагрузка для образца №2 составила 103 тонны. Первые микротрещины появились при нагрузке 40 тонн у основания фундаментного блока возле датчиков №9 и №12.

Трещины на протяжении всего испытания незначительно увеличивались. Разрушение произошло в результате продавливания жестким стержнем бетона фундаментного блока, что свидетельствует об эффективности данного армирования. При значительном раскрытии трещин и разрушении фундаментного блока также образовались трещины на одном из элементов усиления. Внешний вид образца №2 после испытания приведен на рисунке 7.

За третий образец принят фундаментный блок ФБС 9-6-3, усиленный при помощи арматурного каркаса.

Готовый образец поместили под пресс с установкой его на слой цементно-песчаного раствора. Произвели центровку образца на опорной площадке пресса. Определили геометрический центр фундаментного блока для обеспечения центрального нагружения и исключения неравномерного обжатия образца. Нагрузку прикладывали ступенями по 5 тонн.



**Рисунок 7.** Общий вид образца №2 после испытания

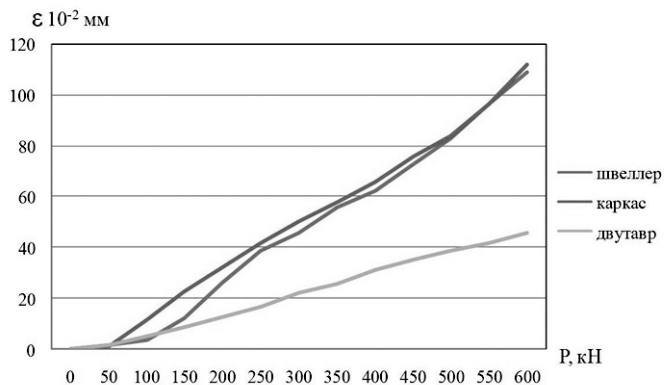
Разрушающая нагрузка для образца №3 составила 82 тонны. Первые микротрещины появились при нагрузке 40 тонн сверху фундаментного блока. Трещины на протяжении всего испытания развивались и увеличивались. Разрушение произошло в результате продавливания жестким стержнем бетона фундаментного блока. Хотя характер разрушения образцов №2 и №3 совпадает, но жесткий стержень в итоге выдержал нагрузку на 20 тонн больше, чем арматурный каркас, что также свидетельствует об эффективности использования жесткого армирования. Внешний вид образца №3 после испытания приведен на рисунке 8.



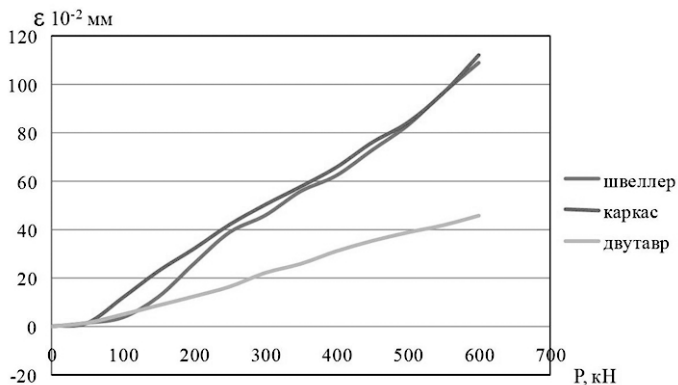
**Рисунок 8.** Общий вид образца №3 после испытания

## Сопоставление результатов испытания

Проведя испытания элементов фундамента, усиленных швеллером, двутавром и каркасом из стержневой арматуры, можно сделать вывод, что использование жесткого профиля является эффективнее использования каркасов – это видно из диаграмм деформирования экспериментальных образцов, которые отображены на рисунках 9 и 10.



**Рисунок 9.** Диаграммы относительных деформаций (по вертикали) экспериментальных образцов при центральном сжатии



**Рисунок 10.** Диаграммы относительных деформаций (по горизонтали у основания набетонки) экспериментальных образцов при центральном сжатии

Из диаграмм видно, что перемещения как по горизонтали, так и по вертикали при использовании двутавровой балки значительно меньше, чем при других вариантах армирования. Следовательно, использование

жесткого стержня при усилении значительно повышает жесткость соединения элемента усиления и существующего фундамента. Также можно отметить, что при использовании жесткого стержня не только снижается деформативность, но и значительно возрастает несущая способность конструкции в целом, что также является существенным фактором при выборе метода усиления.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) среди известных методов обеспечения совместной работы существующего фундамента и элемента усиления, использование жесткого армирования является менее трудоемким и наиболее экономически целесообразным;
- 2) применение жесткого профиля при усилении фундамента позволит обеспечить жесткое соединение элемента усиления и существующей конструкции;
- 3) экспериментально подтверждено, что несущая способность узла сопряжения существующего фундамента и элемента усиления с использованием жесткого армирования выше, чем при использовании арматурных каркасов.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Коновалов, П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. 4-е издание. – Москва: ВНИИТПИ, Изд-во «Бумажная Галерея». – 2000. – 320 с.
2. Лазовский, Д. Н. Проектирование реконструкции зданий и сооружений : учеб.- метод. комплекс. В 3 ч. Ч. 2. Оценка состояния и усиление строительных конструкций / Д. Н. Лазовский. – Новополюцк : ПГУ, 2010. – 340 с.
3. Байков, В. Н., Сигалов, Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Издание третье, исправленное. – М.: Стройиздат, 1978. – 767 с.
4. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – 2-е изд. Переработанное и дополненное. – Л.: Стройиздат, Ленингр. Отдние, 1988. – 415 с.

5. Келемешев, А. Д. Обследование и усиление зданий: учебное пособие для студентов специальности «Строительство»/ А.Д. Келемешев. – Алматы: КазГАСА, 2011. – 98 с.
6. Симагин, В. Г. Основания и фундаменты. Проектирование и устройство. 2-е издание. – М.: Издательство АСВ Петрозаводск-Москва. – 2008. – 492 с.
7. Шагина, А. Л. Реконструкция зданий и сооружений/ А. Л. Шагин, Ю. В. Бондаренко, Д. Ф. Гончаренко, В. Б. Гончаров; Под ред. А. Л. Шагина: Учебное пособие для строит. Спец. Вузов. – Минск: Высшая школа, 1991. – 352 с.
8. Основания и фундаменты зданий и сооружений (СНБ 5.01.01-99). Министерство архитектуры и строительства Республики Беларуси, Минск 2000.
9. Бетонные и железобетонные конструкции (СНБ 5.03-01-02). Министерство архитектуры и строительства Республики Беларуси, Минск 2003.

*Статья поступила в редколлегию 26.11.2014*