

УДК 624.131

**ОПЫТ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ  
ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Невзоров А. Л., Никитин А. В.,**

**Аксенов С. Е., Заручевных А. В., Стрелкова Н.Ю.\***

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.*

*Ломоносова, г. Архангельск, Россия*

*\*ЗАО «АрхГИПРОБУМ», г. Архангельск, Россия*

В статье приводятся результаты обследования конструкций, исследования грунтов основания и описание проектных решений усиления фундаментов на трех объектах целлюлозно-бумажных комбинатов Архангельской области. Представлено реализованное усиление фундаментов с помощью буронабивных свай, закрепление грунтов основания буросмесительным способом и устройство грунтоцементных свай методом струйной цементации.

In the article the results of inspection of structures, research soil and description of project solutions the strengthening of the foundation on three objects of pulp-and-paper plants in the Arkhangelsk region. Presented strengthening the foundations with the use of bored piles, consolidation of the soil drilling mixing method and manufacture of ground piles method of jet grouting.

ЗАО «АрхГИПРОБУМ» совместно с сотрудниками кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Северного (Арктического) федерального университета накоплен большой

опыт по усилению фундаментов оборудования при реконструкции сооружений на Архангельском и Котласском целлюлозно-бумажных комбинатах, таких как, фундаменты картоноделательных и бумагоделательных машин, электрофильтров, экономайзеров и других сооружений.

Обследование фундамента конвективной шахты котлоагрегата выполнялось в связи с заменой оборудования на Архангельском целлюлозно-бумажном комбинате в 2008 году [1]. Конвективная шахта служит для снижения температуры исходящих газов и подогрева воздуха и воды, подающихся в котлоагрегат. Фундамент шахты выполнен из забивных свай длиной 11 м сечением  $0,35 \times 0,35$  м. Общее число свай – 20. Ростверк монолитный, размерами в плане  $4,3 \times 10$  м, высотой 1,25 м. Замена оборудования влекла почти двукратное увеличение нагрузки на фундамент и превышение несущей способности свай по грунту в среднем на 55 %.

В ходе обследования через ростверк была пройдена буровая скважина с отбором кернов бетона и образцов грунта. Под ростверком выявлено следующее напластование озерно-аллювиальных отложений (рис. 1):

- суглинок мягкопластичный, мощность слоя 0,70 м;
- суглинок тугопластичный, с гравием и галькой, 1,95 м;
- глина тугопластичная с прослойками песка.

Сопоставление с данными предшествующих изысканий показало, что за время эксплуатации под подошвой ростверка в слое мощностью 0,7 м произошло увеличение влажности грунта. Суглинок перешел из тугопластичного в мягкопластичное состояние. Более того, при проходке скважины наблюдался непрерывный самоизлив грунтовых вод, свидетельствующий о наличии под ростверком полости с постоянным притоком воды.

С учетом стоимости, трудоемкости и особенностей производства работ был выбран вариант устройства 11 дополнительных буронабивных свай диаметром 250 мм длиной 14,8 м. Сваи по всей длине армировались семью стержнями арматуры класса А-400 диаметром 16 мм. В забой скважины втрамбовывался слой щебня толщиной 0,2 м.

Проходка скважин при устройстве свай велась малогабаритным станком с помощью шнека под защитой оставляемой в грунте стальной обсадной трубы.

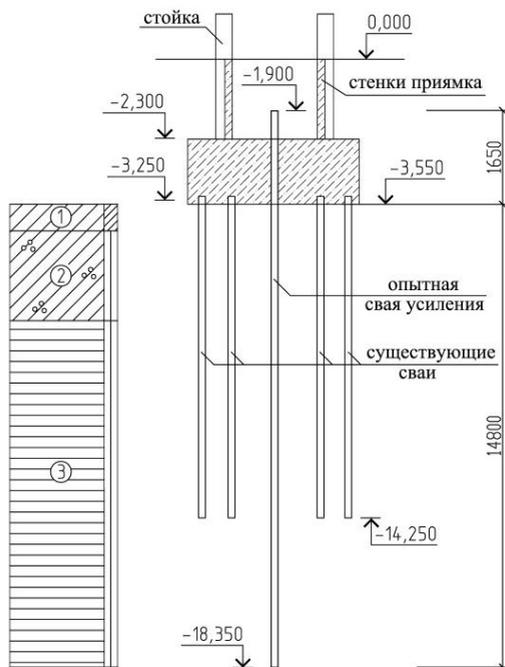


Рис. 1. Схема усиления фундамента конвективной шахты

Несущая способность буронабивных свай уточнялась испытанием статической вдавливающей нагрузкой. Упорная балка из двух швеллеров №30 крепилась к стенкам приямка с помощью анкеров (рис. 2). Нагрузка на сваю создавалась домкратом и наращивалась ступенями по 30 кН. Деформации замерялись прогибомерами, установленными на специальных прогонах.

Результаты испытаний представлены на рис. 3. Испытания были прекращены при нагрузке 360 кН, когда осадка сваи превысила 40 мм. Допустимая нагрузка на сваю была принята 275 кН. Расчет по СП 24.13330.2011 с использованием физических свойств грунтов основания, дал практически то же значение допустимой нагрузки – 270 кН.

Выполненное усиление фундамента конвективной шахты котлоагрегата оказалось эффективным и позволило произвести замену оборудования.

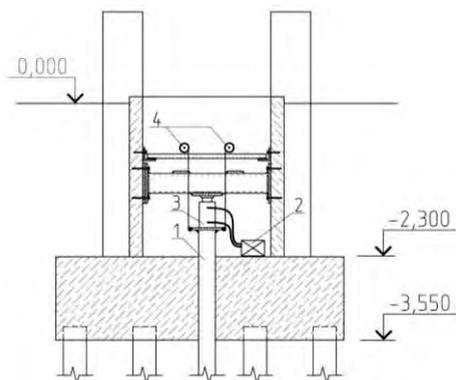


Рис. 2. Испытание свай статической вдавливающей нагрузкой:  
 1 – испытываемая буронабивная свая; 2 – насосная станция;  
 3 – домкрат; 4 – прогибомеры

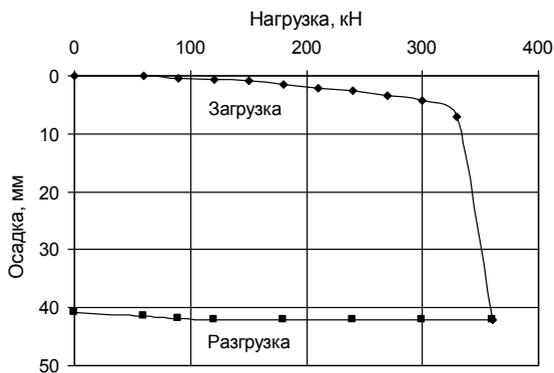


Рис. 3. Результаты испытания буронабивной сваи статической вдавливающей нагрузкой

В 1997 году проектным институтом «АрхГИПРОБУМ» был разработан проект замены экономайзера на Архангельском целлюлозно-бумажном комбинате, предназначенного для подогрева воды, поступающей в котел за счет утилизации тепла топочных газов [2]. Под существующий экономайзер была устроена рама из четырех железобетонных колонн и монолитным перекрытием с отдельными фундаментами мелкого заложения. Фундаменты демонтированного

экономайзера не использованы повторно из-за изменившегося расстояния между осями колонн и значительного увеличения нагрузок, тем более что в фундаментах были выявлены многочисленные вертикальные трещины.

Фундамент под новый экономайзер запроектирован в виде железобетонной плиты размером 11×12 м, толщиной 1,2 м (рис. 4).

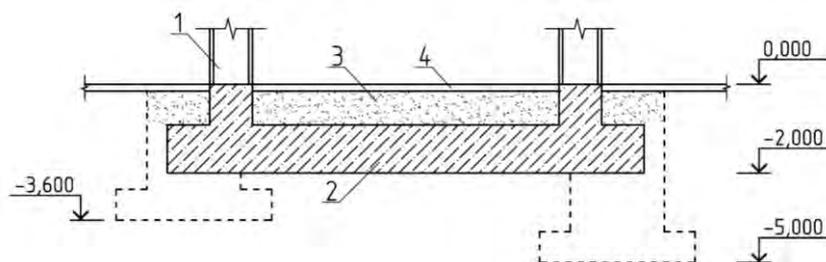


Рис. 4. Проектное решение фундамент экономайзера:

1 – колонны; 2 – железобетонная плита; 3 – песчаная подготовка; 4 – бетонный пол

По результатам инженерно-геологических изысканий установлено следующее напластование грунтов:

- техногенные отложения, образовавшиеся при обратной засыпке фундаментов, представлены глинистыми грунтами в текучем состоянии, с прослойками песка и строительного мусора, мощность слоя 3,6–5,0 м,
- озерно-аллювиальные отложения, суглинок мягко- и тугопластичный.

Наиболее экономичным и технологичным оказался вариант закрепления грунтов основания плиты буромесительным способом.

Перед началом производства работ по закреплению проводились лабораторные испытания смесей техногенного грунта и цементного раствора. Соотношение объемов укрепляемого грунта и раствора изменялось в пределах от 1:0,05 до 1:0,60. Предел прочности на сжатие образцов, выдержанных в течение 28 суток, составил 0,56...1,78 МПа. С учетом действующих нагрузок и неоднородности грунтоцементной смеси, для закрепления основания был принят состав 1:0,25, что соответствует расходу цемента 18–22 кг

на метр проходки при диаметре бурового наконечника 0,35 м. Грунтовый массив был закреплен на глубину 1,6-3,0 м (рис. 5).

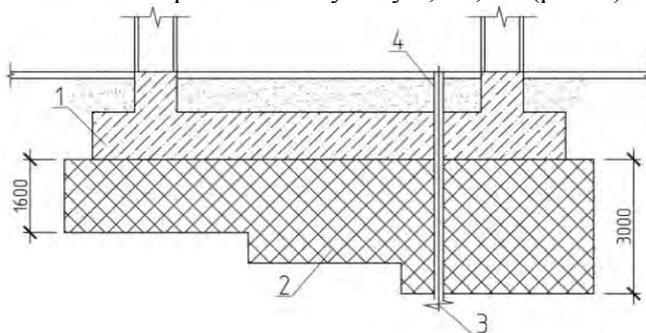


Рис. 5. Схема закрепления грунта и устройства осадочной марки:  
1 – фундаментная плита; 2 – закрепленный грунт; 3 – осадочная марка;  
4 – обсадная труба

По результатам опытных работ, проведенных на строительной площадке, было выбрано буровое оборудование и режимы перемешивания: скорость вращения и вертикального перемещения инструмента, интенсивность подачи раствора. Контрольное бурение с отбором кернов грунтобетона показало, что предложенный способ обеспечивает требуемое качество смеси. Для проведения наблюдений за осадкой экономайзера было установлено 10 марок: 8 поверхностных и 2 глубинные для определения деформаций закрепленного массива и подстилающего его грунта. Наблюдения показали, что в процессе монтажа и его годичной эксплуатации осадка основания не превысила 3 мм. Последующие наблюдения свидетельствуют об отсутствии деформаций грунтов основания.

В связи с заменой продольно-резательного станка на Котласском целлюлозно-бумажном комбинате в 2012 году было выполнено обследование его фундамента. Под продольно-резательный станок устроена рама из восьми железобетонных колонн сечением  $500 \times 500$  мм и монолитным перекрытием с отдельными фундаментами мелкого заложения.

Изыскания выявили следующее напластование грунтов:

- техногенные отложения, представлены песком средней крупности с примесью строительного мусора до 10 %, мощность слоя 2,0...2,2 м,

- аллювиальные отложения, песок мелкий, 3,1...3,5 м;
- озерно-ледниковые отложения, глина тугопластичная, 1,4...1,7 м;
- ледниковые отложения, суглинок тугопластичный, вскрытая мощность слоя 2,7...2,8 м.

Нагрузки от нового оборудования превышали существующие, а средние и краевые напряжения под подошвой всех фундаментов были больше предельных значений. В связи с этим были даны рекомендации по закреплению грунтов методом струйной цементации.

Проектной фирмой ЗАО «АрхГИПРОБУМ» и подрядной организацией ОАО «НЬЮ ГРАУНД» разработан проект и выполнено усиление фундаментов путем устройства грунтоцементных свай диаметром 600 мм длиной 6 м ниже подошвы существующих фундаментов с передачей всей нагрузки на нижележащие слои основания (рис. 6).

Каждый фундамент под колонну был усилен восьмью грунтоцементными сваями. Максимальная нагрузка на грунтоцементную сваю составила 34 тонны, допустимая нагрузка – 39,6 тонны.

Работы по устройству грунтоцементных свай выполнялись в следующей последовательности:

- бурение технологических скважин диаметром 112 мм колонковым способом для устройства грунтоцементных свай,
- струйная цементация для образования грунтоцементных свай,
- задавливание сердечников (стальных труб) для опрессовки грунтоцементных свай,
- армирование грунтоцементных свай в верхней зоне для сопряжения с ростверком.

Давление нагнетания раствора при закреплении составляло 450 атм, водоцементное отношение раствора 1. Сваи по центру армировались трубами диаметром 89 мм, в верхней части которых на 1 м ниже подошвы ростверка предусматривалась перфорация для опрессовки грунтоцементных свай. Опрессовка производилась в связи с возможной усадкой грунтоцементного материала ствола сваи в процессе твердения.

Контрольное бурение скважин с отбором керна показало, что прочность материала грунтоцементных свай составила 4,7 МПа.

Предложенные варианты усиления фундаментов и оснований на Архангельском и Котласском целлюлозно-бумажных комбинатах позволили выполнить работы по замене оборудования в заданные

сроки и обеспечить восприятие основаниями и фундаментами заданных нагрузок.

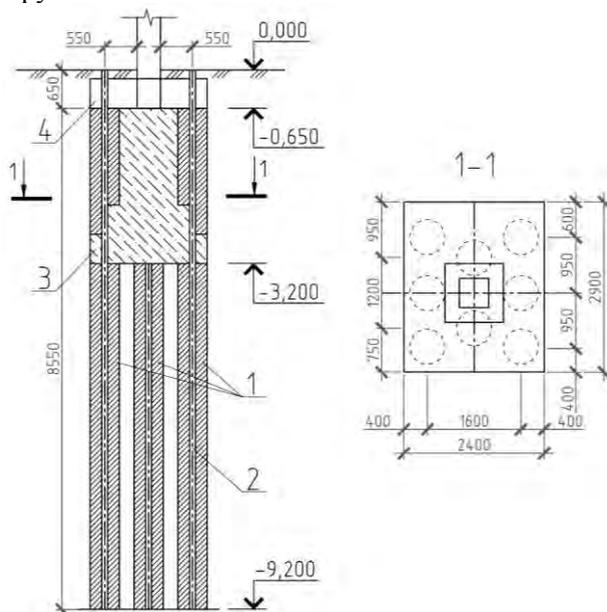


Рис. 6. Схема усиления фундамента продольно-резательного станка:

- 1 – грунтоцементные сваи; 2 – стальные сердечники (трубы);  
3 – существующий фундамент; 4 – монолитный ростверк

## Литература

1. Усиление фундамента конвективной шахты котлоагрегата на Архангельском ЦБК / А.Л. Невзоров [и др.] // Сб. тр. юбилейной конф., посвященной 80-летию кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов. – М. : 2010. – С. 170–173.

2. Невзоров, А.Л. Закрепление грунта в основании экономайзера на ТЭЦ-2 Архангельского ЦБК / А.Л. Невзоров, Д.Д. Козмин, А.А. Гуторов // Реконструкция и ремонт зданий и сооружений в климатических условиях Севера : Тр. междунар. науч.-техн. конф. – Архангельск : АГТУ, 1999. – С. 48–52.