

УДК 624.131.:624.15

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫРАВНИВАНИЮ КРЕНОВ  
СООРУЖЕНИЙ ИНЪЕКЦИЕЙ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА**

**А.С. Головки, к.т.н.**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства  
и архитектуры»*

**Актуальность проблематики и постановка задачи.** При строительстве зданий и сооружений в условиях плотной застройки в процессе эксплуатации при знакопеременных, циклических нагрузках либо неоднородном строении основания происходят неравномерные осадки сооружений с развитием крена, при определенных значениях которого нарушаются нормальные условия эксплуатации.

В случае неравномерных деформаций основания применяется комплекс инженерных мероприятий, направленных на стабилизацию либо выравнивание сооружений. Как правило, применяются методы горизонтального либо глубинного выбуривания грунта, односторонних пригрузов и воздействий на массив либо используются специальные механические системы [1,2]. С точки зрения достижения быстрого и контролируемого эффекта находят применение технологии инъекционного закрепления грунтов, позволяющие стабилизировать осадки и крены. В последнее время для усиления оснований с эффектом поддомкрачивания применяются инъекции цементных раствором при высоких давлениях [2,3,4].

Вопросы усиления оснований и стабилизации кренов инженерных сооружений, расчета оснований при действии дополнительных высоких давлений, эффекта армирования остаются разработанными в ограниченном объеме.

**Цель настоящих исследований** состоит в создании методики выравнивания крена сооружения на плитном фундаменте, получившего сверхнормативные крены с контролем положения до, в процессе и после выполнения инъекционных работ.

**Изложение основного материала.** По материалам геологических изысканий грунты основания исследованных фундаментов находятся в маловлажном состоянии. Обратная засыпка котлованов более глубоких фундаментов выполнена мелкозернистым песком при мощности 0,90-1,50 м от подошвы. В зимних условиях уплотнение произведено некачественно, пески находятся в рыхлом и среднеплотном состоянии, подстилаются слоем мелкого песка средней плотности с модулем деформации 37,0 МПа. Расчетные характеристики грунтов основания по I группе предельных состояний могут быть приняты на основании изысканий: для обратной засыпки из мелкого песка  $\varphi=28,7^\circ$ ;  $c=2$  кПа, для коренных песков мелких средней плотности  $\varphi=31,3^\circ$ ,  $c=4$  кПа.

Сооружения вакууматоров выполнено по жесткой конструктивной схеме с плитными железобетонными фундаментами размерами 7,60x7,60 м. Согласно действующих норм (ДБН В.2.1-10-2009 додаток И, п.п. 6) предельные деформации основания по условию работы с надземной конструкцией жесткого типа ограничиваются величинами: максимальная осадка  $S_u= 20,0$  см; крен  $i_u =$

0,004 д.ед. Для вакууматоров по технологическим ограничениям определяющим при оценке состояния является общий крен.

Фактические нагрузки на фундаментную плиту (вакууматор с кожухом) составляет  $5200 \pm 160$  кН при нагрузке на каждую из восьми опор 630кН. Постоянная нагрузка на одну опору без ковша  $LO1=336$  кН. Собственный вес фундамента  $LOQ=1300$ кН. Временной циклической нагрузкой является вес ковша с крышкой, составляющий  $N=2510$ кН. Постоянная нагрузка с учетом веса фундамента составляет  $Np=3990$  кН (399 тс) при давлении по подошве плиты  $P=69$ кПа. Давление при полной нагрузке  $Pп=112$ кПа. Схема фундамента с точками измерений и инъекционными скважинами дана на рис.1, схема нагрузок приведена на рис 2.

При указанных давлениях расчетная деформация основания фундаментов составляя до 2,0 см. Однако, в процессе эксплуатации произошли неравномерные осадочные деформации основания с развитием крена фундаментов № 1 и 2 с общими закономерности по направлению и незначительными расхождениями абсолютных величин. Измеренные значения крена приведены на рис. 3. Наблюдаемые максимальные осадки составили 54-72 мм находясь в пределах допускаемых величин.

Крен фундаментов превысил нормируемые значения в 2,5...4,0 раза, причем его стабилизации длительное время не наблюдалось, что требовало проведения периодических остановок и рихтовок тяжелого оборудования. По фундаменту №1 за год эксплуатации крен увеличился с 0,011 до 0,0162 д.ед, по фундаменту №2 с 0,007 до 0,0105 д.ед.

При расчетном обосновании и проектировании усиления основания и выравнивания крена принята технология закрепления активной зоны методом цементации под давлением.

В решениях заложен основной подход, заключающийся в закреплении грунтов в режиме разрыва с армированием пространственными вертикальными, наклонными и горизонтальными элементами из цементного раствора, заполнения пор и пустот, уплотнения, ликвидации скрытых дефектов основания. Принятый метод соответствует рекомендациям п.п. 6.3.14 ДБН В.3.1-1-2002. Для оценки напряженно-деформированного состояния основания в процессе инъектирования рассматривается скважина глубиной «Н» и диаметром «а», в которую производится нагнетание раствора под давлением  $P_1$ . В расчете рассматривается условно вырезанная область за пределами скважины с радиусом «в». Поскольку  $h/2 \gg a$ , с достаточной степенью точности можно положить, что грунт на глубине Н находится в полярно-симметричном напряженном состоянии. Для данного случая задача определения радиальных и тангенциальных напряжений, радиуса распространения раствора и выходов на незагруженную поверхность решена в работе [4].

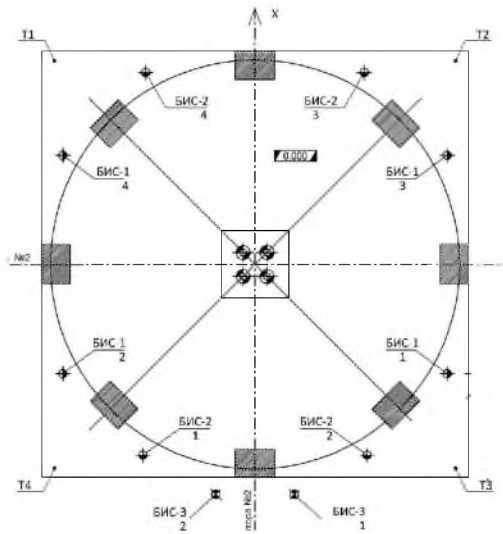


Рис. 1. Фундамент вакууматора. Т-1...Т-4 – точки замера отклонений от плоскости, БИС-1...БИС-3 – инъекционные скважины,

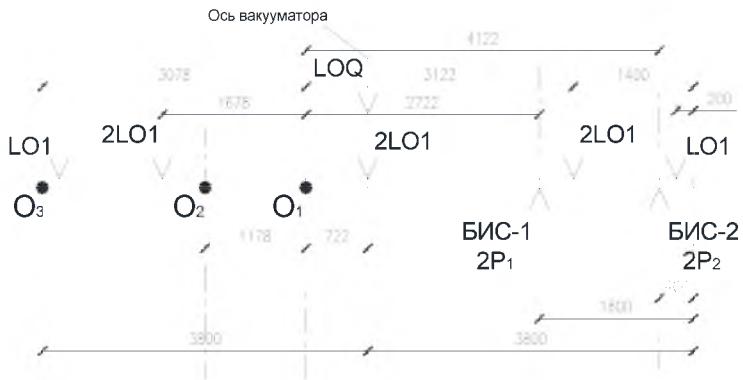


Рис. 2. Схема загрузок и давлений при выравнивании (подъеме) плиты.

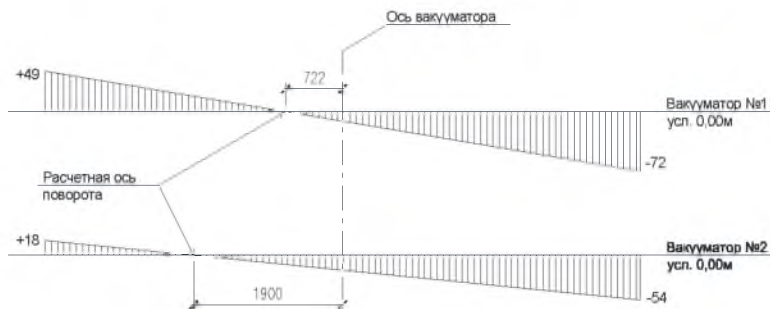


Рис. 3. Схема крена фундаментной плиты вакууматоров №1 и №2

Для усиления и выравнивания фундаментов рассчитаны давления  $P$  нагнетания раствора в основание с учетом фактического давления под подошвой фундаментов от статических нагрузок без учета нагрузки от ковша с крышкой, поскольку временные нагрузки при нагнетании не прикладываются. Полученные данные при диаметре скважины 73+10 мм приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Расчетные параметры инъектирования основания.

| № ИГЭ | Прочностные характеристики |             | Радиус инъектирования в сантиметрах при давлении $P_i$ МПа |      |      |       |       |       |       |       |       |
|-------|----------------------------|-------------|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | $\phi_i$ , град.           | $C_i$ , кПа | 0,1  | 0,5  | 0,6  | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   | 1,1   | 1,2   |
| 2     | 28,7                       | 2/4         | 30,00  | 44,5 | 48,8 | 52,72 | 56,36 | 59,78 | 63,00 | 66,09 | 69,03 |

Окончательные параметры нагнетания, включающие длину участка нагнетания, радиусы распространения раствора и уплотнения грунта, давления нагнетания и давления опрессовки были откорректированы после контрольного нагнетания. Основные расчетные параметры при нагнетании и повороте плиты относительно принятых условных точек приведены в таблице 2.

При принятом методе усиления основания расчетное уменьшение пористости по объему массива составляет 12-18%, приведенный модуль деформации грунтов с учетом армирования цементным камнем мелких песков повышается с 15 до 28 МПа.

В процессе производства работ проведен контроль положения фундаментной плиты и полов. Было выполнено шесть циклов замеров, целью которых являлось определение фактических абсолютных деформаций фундаментной плиты (осадок и подъема) в период усиления основания и после завершения работ при действии временных нагрузок от ковша с определением закономерностей распределения в плане.

Технологические давления нагнетания.

| Марка скважины                 | Давление нагнетания, МПа | Усилие подъема требуемое, кН | Усилие подъема, КН расчетное при $\gamma_{cf}=1,25$ | Расчетный радиус распространения раствора, м |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|--|
| Поворот относительно оси $O_1$ |                          |                              |   |  |
| БИС-1/1,2                      | 0,7                      | 521                          | 651   | 0,872  |
| БИС-2/1,2                      | 0,55                     | 344                          | 430   | 0,467  |
| БИС-3/1,2                      | 0,55                     | 325                          | 406   | 0,467  |
| БИС-1,2/3,4                    | 0,10 - 0,15              | -                            |   | до 0,32                                      |
| Поворот относительно оси $O_3$ |                          |                              |   |  |
| БИС-1/1,2                      | 1,15                     | 132                          | 165   | 0,676  |
| БИС-2/1,2                      | 1,05                     | 106                          | 132,5   | 0,640  |
| БИС-3/1,2                      | 1,00                     | 100                          | 125   | 0,630  |
| БИС-1,2,4/3,4                  | 0,10 - 0,15              | -                            | -   | до 0,32                                      |

При усилении подъем фундаментной плиты №1 осуществлен на 36 мм, №2 на 41 мм, при этом общий крен уменьшился до 0,0104 и 0,0031 д.ед. соответственно. Всего по вакууматорам за период наблюдений после усиления основания выполнено по 97 циклов нагружения фундамента и основания нагрузкой от ковша и крышки  $2800 \pm 50$  кН. Изменения положения фундамента за период измерений не было зафиксировано, упругие деформации составляли  $\pm 1,0$  мм. Полностью вывести плиты в проектное положение  $\pm 0,00$  м не удалось в силу жесткого контакта «фундамент - плита пола цеха» и подъема полов вместе с фундаментной плитой. Проектные параметры по давлению нагнетания и объему инъекционного раствора были достигнуты в приемлемых пределах.

Важно отметить, что в процессе нагнетания отмечалось резкое падение давления, что было связано с подъемом плиты, образованием на контакте зазора с нулевым давлением на поверхности, прорывом в данную зону раствора и ее заполнением. После заполнения пустоты давление снова начинало медленно увеличиваться до проектных параметров. Для подъема плиты в требуемое положение понадобилось от 5 до 7 циклов закачки раствора. Пиковые давления в момент подъема находились на уровне расчетных с отклонениями  $\pm 12\%$ .

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод, что через 28 суток деформации основания, связанные с усадочными процесса-

ми твердения инъекционного раствора и релаксаций напряжений инъектирования были практически завершены.

### Выводы.

1. Инъекцией цементного раствора в основание можно обеспечить комбинированное усиление за счет уменьшения пористости и армирования массива с уменьшением общего крена фундаментов и стабилизацией деформаций.

2. На основании измерений общий крен вакууматора №1 составляет 0,0104 д.ед. При усилении и подъеме максимально осевшей стороны крен уменьшен в 1,55 раза. По вакууматору №2 общий крен составляет 0,0031 д.ед. При усилении и подъеме максимально осевшей стороны крен уменьшен в 3,25 раза.

3. В период эксплуатации в течение 36 суток деформации усадки раствора и релаксации инъекционных напряжений стабилизировались. После 97 циклов нагружения фундаментов временной нагрузкой их положение является стабильным. Упругие деформации находятся в диапазоне  $\pm 1,0$  мм. Проектная работа металлургического оборудования обеспечена на проектный период.

4. Метод усиления основания с регулированием деформаций в процессе нагнетания растворов может быть широко применен при усилении фундаментов зданий и сооружений.

5. Технологические подходы в назначении интервалов инъектирования, давлений нагнетания необходимо корректировать в зависимости от характеристик сооружений, строения грунтовых оснований и величин действующих нагрузок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выравнивание зданий и сооружений с помощью регулировочных устройств и регулируемых фундаментов: Методические указания по выравниванию зданий и сооружений. – К.НИИСК, 1987. – 87 с.
2. А.Камбефор. Инъекция грунтов. Принципы и методы./Перевод с фр. Р.В.Казаковой и В.Б.Хейфица/. М., «Энергия», 1971, – 333 с.
3. Головки С.И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной цементации: Монография / С.И. Головки. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 247 с.
4. Головки С.И. Опыт усиления водонасыщенного основания водонапорной башни методом цементации / С.И. Головки // Строительство, материаловедение, машиностроение. - Днепропетровск: ПГАСиА, 2009. – Вып. 48, ч. 3. - С. 248-254.