

## ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ЛОДЖИИ ТЕРРАСЫ ДВОРЦА КОНГРЕССОВ В СТРЕЛЬНЕ

**С. А. КУДРЯВЦЕВ** – канд. техн. наук, докторант, Санкт-Петербургский Государственный университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург.

**С. Г. БОГОВ** – ведущий специалист НПО «Геореконструкция-Фундамент-проект», г. Санкт-Петербург.

**Л. А. ГЛЫБИН** – ведущий инженер ЗАО НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», Санкт-Петербург, Россия.

Представлены результаты разработки современных методов расчета процессов промерзания, морозного пучения и оттаивания. Приведен реальный пример эффективного использования новейших геоматериалов для снижения или исключения негативного воздействия сил морозного пучения на конструкции колонн лоджий террасы Дворца конгрессов в Стрельне.

В период сезонного промерзания и оттаивания 2003–2004 гг. возникли дефекты колонн лоджий террасы Дворца конгрессов в Стрельне. Наиболее очевидно это проявилось на материале колонн крайней западной лоджии №6, выполненных из известняка в виде цилиндров равных размеров, надетых на металлическую ось (рис. 1). Деформации выразились в виде разрушения капителей и многочисленных трещин в теле колонн.



Рис. 1. Дефекты колонн лоджии №6

В результате проведенного в середине апреля 2004 г. визуального обследования выяснилось, что стилобат и нижние части колонн находятся в переувлажненном состоянии (рис. 2). Это свидетельствует о том, что данные конструкции были вовлечены в процесс морозного пучения и оттаивания с миграцией влаги.



Рис. 2. Переувлажнение нижней части конструкций колонн

Для получения более полной информации о причинах образования выявленных деформаций в начале сентября 2004 г. было выполнено четыре зондажа конструкций (рис. 3).

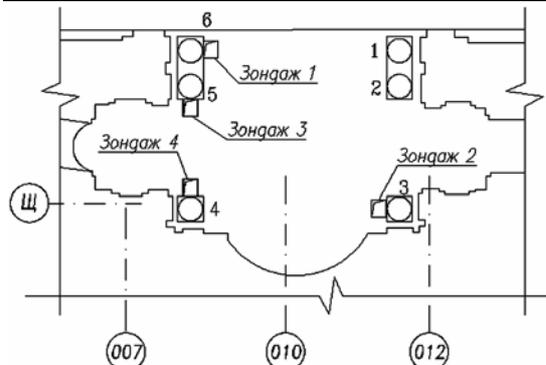


Рис. 3. Схема зондажей в лоджии №6

Зондаж №1 выполнен в арочном проходе у колонны №6 по оси «007» с размерами в плане 27...32 см (рис. 4, 5).



Рис. 4. Общий вид зондажа №1

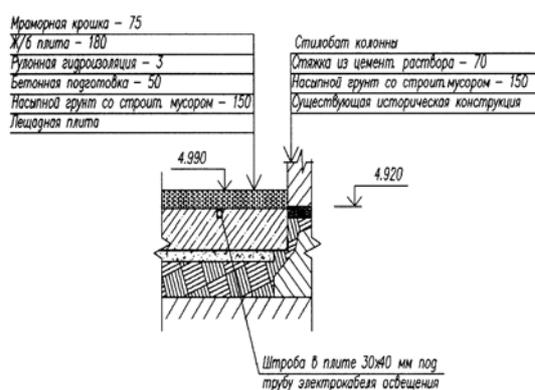


Рис. 5. Схема зондажа №1

Зондажи показали, что работы по устройству плиты и ее гидроизоляции выполнены с существенными отклонениями от проекта.

При вскрытии было установлено, что под частью основания наружной колонны со стороны лоджий выполнена подливка из цементного раствора толщиной до 40 мм, со стороны нижнего парка под базой колонны вскрыта доска толщиной 25 мм. При зондаже были пройдены следующие слои:

- слой покрытия полов лоджий в виде мраморной крошки толщиной 75 мм;
- железобетонная плита толщиной 170...180 мм;
- слой рулонной гидроизоляции толщиной 3 мм;

- слой бетонной подготовки толщиной 50 мм;
- слой насыпного влажного пылевато-глинистого грунта со строительным мусором толщиной 150 мм;

лещадная известняковая плита.

Толщина лещадной известняковой плиты не определялась.

Вскрытие показало, что мраморная крошка находится во влажном состоянии. Железобетонная плита с гидроизоляцией не заведена под опорную часть колонны и не заделана штроблением в кирпичную стену террасы, как было запроектировано. Под плитой выявлен слой влажного пылевато-глинистого грунта. Проектного слоя щебеночной подготовки в основании плиты не обнаружено. Аналогичная ситуация зафиксирована и в других точках зондажа западной лоджии №6 террасы Дворца конгрессов.

Проектом предусматривались: создание водонепроницаемой железобетонной плиты, которая могла являться надежным основанием под установку колонн; анкеровка плиты в кирпичные стены с помощью штраб и анкерных стержней, а также гидроизоляция. Слой гидроизоляции под плитой в зондажах № 1...4 не установлен. Таким образом, замкнутого контура гидроизоляции между историческими и выполненными конструкциями фактически нет.

При выполнении основания под железобетонную плиту не производилась вычинка существующих конструкций от разрушенного материала и насыпного грунта со строительным мусором, который в водонасыщенной среде при отрицательных температурах подвержен морозному пучению.

Выявленные дефекты способствуют процессу миграции влаги и увлажнению материала стилобатов и колонн.

Наличие слоя влажного пылевато-глинистого грунта под железобетонной плитой пола лоджий и его морозное пучение являются основными причинами деформаций материала колонн.

Повышенная влажность стилобатов колонн № 1 и 2 указывает на то, что их основание находится в аналогичном состоянии.

Для защиты зданий и сооружений от сил морозного пучения широко используется экструзионный пенополистирол фирмы ЗАО «Пеноплэкс-Санкт-Петербург», который обеспечивает высокоэффективную долговечную теплоизоляцию фундаментов путем исключения теплопроводящих мостиков холода. Совокупность этих свойств наряду с низкой теплопроводностью, ничтожной гигроскопичностью, высокой прочностью на сжатие, технологичностью применения позволяет создавать эффективную конструкцию.

С учетом анализа рис. 2–4 была предложена технология укладки теплоизоляционных плит из экструзионного пенополистирола, выпускаемого «Пеноплэкс». На глубине 0,15 м от поверхности земли под железобетонной плитой укладываются плиты с размерами 900×1000 мм и толщиной  $\delta = 100$  мм. Теплофизические характеристики данного утеплителя следующие: плотность  $\rho = 0,25$  т/м<sup>3</sup>; теплопроводность  $\lambda = 0,06$  Вт/(м·°С); удельная теплоемкость  $C = 0,84$  кДж/(кг·°С).

Установлению напряженно-деформированного состояния грунтов (НДС) системы «сооружение – основание» при промерзании-оттаивании всегда предшествует решение нестационарных теплофизических задач. Наиболее строгое решение должно предусматривать учет фазовых превращений в спектре отрицательных температур, а также наличие в зоне промерзания влаги, перемещенной в нее за счет миграции. Именно эта влага при близости к фронту промерзания подземных вод вносит значительный вклад в деформации морозного пучения, а также последующего оттаивания.

Для разработки конструктивных мероприятий по устранению этих негативных явлений было выполнено численное модели-

рование совместной оценки теплофизического состояния и НДС в процессе промерзания-оттаивания колонны западной лоджии №6 до конструктивных мероприятий и после их проведения.

Расчеты выполнялись по программе «Termoground», являющейся составной частью базового программного комплекса «FEM models», разработанного геотехниками Петербурга в ЗАО НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект» под руководством В. М. Улицкого [1]. Программа «Termoground» позволяет решать пространственные теплофизические и деформационные задачи во времени при любых граничных условиях со следующими особенностями:

теплофизическая задача решается с учетом фазовых превращений воды в лед в интервале отрицательных температур для нестационарного теплового режима в трехмерном грунтовом пространстве;

относительные деформации грунта при промерзании устанавливаются при перераспределении влаги, а также с учетом ее миграции, возможность которой зависит от расстояния от фронта промерзания до уровня грунтовых вод, тренд которых в течение зимнего периода предполагается известным;

НДС основания устанавливается с учетом анизотропии деформаций пучения, а максимальные деформации грунта при оттаивании – по физическим характеристикам (влажность, льдистость).

На рис. 6 представлена расчетная схема колонны западной лоджии №6.

Средняя годовая температура воздуха в данном районе согласно СНиП 23-01-99 [3], составляет 4,4°С. Средняя температура в январе составляет минус 7,8°С, а в июле – плюс 17,8°С. Сезонные колебания температур, составляющие 25,6°С, значительно влияют на грунты в основании и на конструкции самой колонны.

Было проведено помесечное численное теплофизическое исследование в пространственной постановке процессов промерзания и оттаивания.

Как видно из рис. 7, глубина промерзания конструкции колонны в данных условиях на март составляет  $d_f = 1,45$  м.

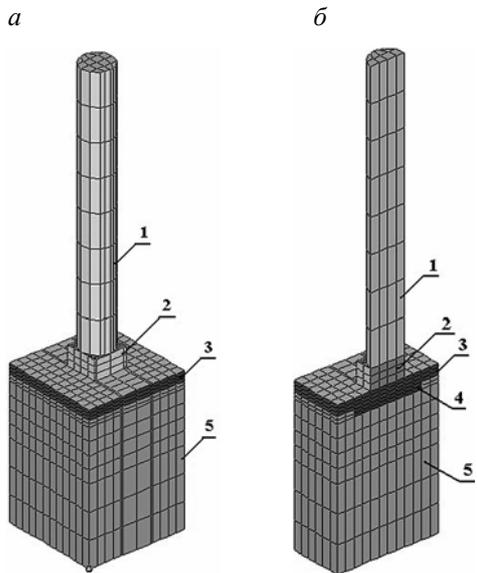


Рис. 6. Расчетная схема без утепления (а) и с утеплением (б): 1 – колонна; 2 – стилобат; 3 – железобетонная плита; 4 – пенополистирол; 5 – кирпичная кладка

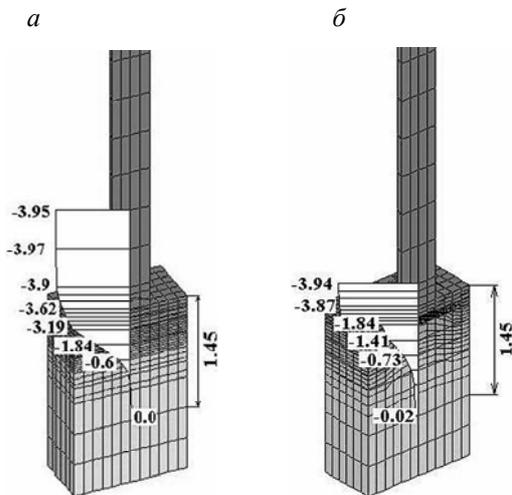


Рис. 7. Изолинии и эпюры распределения температур в конструкции колонны в марте без утепления (а) и с утеплением (б) экструзионным пенополистиролом

Из рис. 8 видно, что без утепления подошвы железобетонной плиты температура в основании находится в интервале активного морозного пучения, достигая в феврале значений ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ .

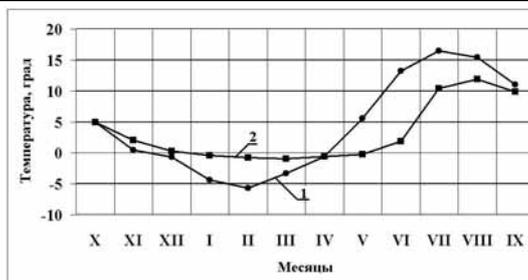


Рис. 8. Графики изменения температуры грунта в течение года под железобетонной плитой на глубине 0,25 м без утепления (1) и с утеплением экструзионным пенополистиролом (2)

При утеплении подошвы железобетонной плиты с вычинкой разрушенного материала температура основания не опускается ниже  $-1^{\circ}\text{C}$  (начало интервала действия сил морозного пучения). Эти интервалы отрицательных температур в основании наглядно отображаются на графиках деформаций морозного пучения и оттаивания в годичный период времени (рис. 9).

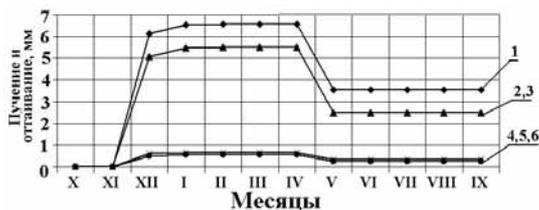


Рис. 9. Графики деформаций морозного пучения и оттаивания конструкции колонны: 1, 2, 3 – без утепления, соответственно, в основании колонны, на высоте 2 м и на высоте 3,5 м; 4, 5, 6 – то же с утеплением

Приведенные на рис. 9 деформации конструкции показывают, что возникающие при этом напряжения в материале колонн и капителей приводят к частичному их разрушению.

На основании анализа проектных материалов, численного моделирования и проведенных обследований было разработано несколько конструктивных решений для устранения дефектов колонн и капители. Одним из вариантов является защита конструкции колонн от процесса промерзания-оттаивания утеплением подошвы железобетонной плиты экструзионным пенополистиролом (рис. 10).

