

ПОДЪЕМ И ВЫРАВНИВАНИЕ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПЛОСКИХ ДОМКРАТОВ

В. Д. ЗОТОВ – канд. техн. наук, профессор, директор НПО «Интербиотех»
член РОМГТиФ, г. Ростов-на-Дону.

М. В. ЗОТОВ – главный инженер НПФ «Интербиотех», г. Ростов-на-Дону.

Авторами разработана электрогидравлическая система и методика для подъема и выравнивания зданий, защищенные патентами РФ. Рассмотрены вопросы моделирования процесса взаимодействия сооружения и основания при выравнивании. Приведены примеры успешного выравнивания 9-этажных домов в г. Тбилиси и Волгодонске.

ВВЕДЕНИЕ

Здания и сооружения в процессе своего существования должны находиться в эксплуатационно пригодном состоянии. Как правило, специалисты (изыскатели, проектировщики и строители) уверены, что проведенные ими работы и расчеты гарантируют адекватное поведение грунта, фундаментов и конструкций. Существуют предельно допустимые значения, нормативные отклонения и прочие допуски, в рамках которых система будет работать нормально. Правила обследования, расчета и возведения сооружений, допустимые отклонения тех или иных параметров подробно изложены в СНиПах, ТСН и другой учебно-справочной литературе.

Однако в ряде случаев отклонение объектов от вертикали составляет 1 м вместо 15 см, относительная осадка – 40 см вместо 10 см, а степень деформаций такова, что под угрозой оказывается безопасность проживания. Тогда специалисты начинают лихорадочно разрабатывать рекомендации по устранению предаварийных ситуаций. Это может быть и конструктивное усиление, и закрепление основания, и выравнивание здания и все вместе взятое. Возможен и полный демонтаж объекта. Во всех случаях в самом худшем положении оказываются люди, проживающие в этом доме.

И все-таки, из-за чего происходят преда-

варийные и аварийные ситуации? Из-за неумения строить? Или причина в человеческом факторе и уровне познаний, которым мы обладаем на момент возведения того или иного объекта?

Анализируя причинно-следственные связи предаварийного состояния более чем 30 объектов, которые за 10 лет с помощью домкратов выровняло НПО «Интербиотех», можно склониться ко второй причине. Во многих случаях здания спасало только то, что они были хорошо построены [1, 2].

Возводя жилые дома, мы определяем для них достаточно большие сроки безопасной эксплуатации и комфортного проживания. Но через 10...20 лет оказывается, что те нормы, на которых базировался этот проект, устарели.

Проследим хронологию действия нормативных документов, например, по расчету оснований и фундаментов. Таблицы допустимых значений нагрузки на грунты впервые появились в ведомственных нормах транспортных строителей незадолго до Октябрьской революции 1917 г. В 1926 г. утверждены общесоюзные Временные технические условия и нормы проектирования железобетонных сооружений. В 1932 г. появились «Нормы для устройства оснований и заложения фундаментов» (ОСТ 4543). В 1938 г. Всесоюзный институт оснований (ныне НИИОСП) разрабатывает нормы ОСТ 9004–38. В 1941 г. для строительства в условиях военного времени выпускаются нормы У-21–41. В 1948 и

1955 г. вводятся нормы НиТу 6–48 и НиТУ 127–55. В 1962 г. выходит СНиП II-Б.1–62 и в 1975 г. СНиП II-15–74. Наконец, в 1975 г. выходит СНиП 2.02.01–83, измененный и дополненный в 1995 г. (СНиП 2.02.01–83*).

Получается, что только с 1917 г. в России начали вводить правила строительства исходя из особенностей грунтовых условий. Потом нормы менялись 9 раз, в среднем один раз в 8 лет, и каждый последующий документ что-то отменял или добавлял к предыдущему. Но здания строились и до 1917 г. и продолжают стоять. Строились они и во все последующие годы. Причем величины допустимых давлений на грунты оснований в разное время и в разных странах могут существенно различаться (табл. 1) [3]. Значит, основные причины аварийности не в нормах, а в деятельности человека после постройки здания.

Застройка городов, прокладка водонесущих коммуникаций и, что самое главное, эксплуатация зданий организациями, весьма отдаленно разбирающимися в основах эксплуатации, привели к тому, что основание фундаментов начало изменяться. Причем, отсутствие средств на определение количественного и качественного изменения параметров грунтов основания, как и отсутствие средств на своевременную перекладку коммуникаций и текущий ремонт, не позволяет говорить о каком-либо мониторинге даже тех зданий, которые признаны аварийными.

Необходимо признать, что наряду с преподаванием дисциплин и изданием нормативной литературы, регламентирующими правильное строительство и эксплуатацию зданий и сооружений, целесообразно ввести ту же самую практику для зданий аварийных и предаварийных. Восстановление эксплуатационной надежности зданий такая же сложная наука, как возведение зданий. Специалисты, грамотные в вопросах проектирования и строительства не всегда могут правильно и однозначно решить задачу по восстановлению сооружений. Подходить к решению таких вопросов разумнее с готовыми наборами различных алгоритмов, которые можно применять к тому или иному аварийному объекту. А техническая документация, рекомендации и технологии должны разрабатываться теми специалистами, для которых предотвращение аварий на жилых зданиях является повседневной работой.

Задача, поставленная нами, состоит в освещении частного вопроса по разработке алгоритма проектирования регулируемых фундаментов и обоснованию подготовительных работ для выравнивания зданий, получивших в процессе эксплуатации сверхнормативные деформации с использованием плоских домкратов. Накопленный опыт в подъеме и выравнивании зданий позволяет вывести некоторые закономерности в поведении надземных (поднимаемых) частей, фундамента и основания.

Таблица 1

| Страна | Допустимые давления на грунты оснований, МПа | | | | | | | |
|-----------------|--|-----------|---------------------------------------|-----------|-------------|----------------|------------|-----------------|
| | Песчаные | | | Глинистые | | | | |
| | Галечниковые, гравий | Крупные | Средней крупности, мелкие и пылеватые | Твердые | Полутвердые | Тугопластичные | Пластичные | Мягкопластичные |
| Россия | | | | | | | | |
| ОСТ 9000-438 | 0,35–0,6 | 0,35–0,45 | 0,1–0,35 | 0,25–0,6 | 0,25–0,6 | 0,21–0,53 | 0,17–0,45 | 0,1–0,3 |
| НиТУ 127-55 | 0,3–0,5 | 0,35–0,45 | 0,1–0,35 | 0,2–0,6 | 0,2–0,6 | 0,18–0,55 | 0,15–0,5 | 0,1–0,4 |
| СНиП II-Б.1-62 | 0,3–0,5 | 0,35–0,45 | 0,1–0,35 | 0,2–0,6 | 0,2–0,6 | 0,18–0,55 | 0,15–0,5 | 0,1–0,4 |
| СНиП II-15-74 | 0,3–0,5 | 0,5–0,6 | 0,1–0,5 | 0,2–0,6 | 0,2–0,6 | 0,18–0,55 | 0,15–0,5 | 0,1–0,4 |
| СНиП 2.02.01.83 | 0,35–0,6 | 0,5–0,6 | 0,1–0,5 | 0,2–0,6 | 0,2–0,6 | 0,18–0,55 | 0,15–0,5 | 0,1–0,4 |
| Польша | 0,3–0,6 | 0,2–0,5 | 0,1–0,4 | 0,35–0,45 | 0,25–0,45 | 0,15–0,3 | 0,08–0,2 | 0–0,12 |
| Чехия | 0,5 | 0,35 | 0,15–0,25 | 0,35 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0 |
| Румыния | 0,4–0,6 | 0,35–0,45 | 0,1–0,35 | – | – | – | – | 0,1–0,4 |
| Венгрия | 0,45–0,78 | 0,3–0,65 | 0,15–0,4 | – | 0,3–0,81 | 0,25–0,68 | – | 0,12–0,3 |
| США: | | | | | | | | |
| Сан-Франциско | 0,6 | 0,3–0,4 | 0,15–0,3 | 0,6 | 0,3 | – | – | 0,1 |
| Чикаго | 0,15–0,25 | 0,15–0,25 | 0,15–0,25 | 0,225 | 0,175 | 0,125 | 0,075 | 0,025 |
| Бостон | 0,39–0,69 | 0,29–0,39 | 0,09–0,29 | 0,59 | – | – | 0,09 | – |
| Франция | 0,3–0,4 | 0,1–0,3 | 0,1–0,2 | 0,3–0,5 | 0,15–0,3 | 0,08 | 0,04 | 0 |

1. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ВЫРАВНИВАНИЯ ЗДАНИЙ СИСТЕМОЙ С ПЛОСКИМИ ДОМКРАТАМИ

За рубежом метод подъема и выравнивания зданий и сооружений с использованием гидравлических домкратов применяется с 1879 г., а в нашей стране он насчитывает более 70 лет. В решении проблемы корректировки геометрического положения зданий и сооружений в пространстве важна разработка эффективных конструкций регулировочных устройств, главным звеном которых являются силовые исполнительные органы – компенсаторы деформаций. В методе подъема (одном из наиболее апробированных) таким органом является плоский домкрат из листовой стали, который наиболее полно отвечает требованиям к исполнительным силовым элементам (рис. 1, а, б).

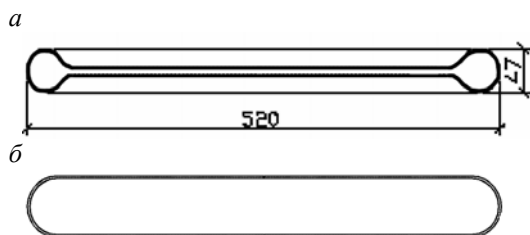


Рис. 1. Сечение стального плоского домкрата: в исходном состоянии (а); в раздутом состоянии (б)

Применение таких домкратов позволяет успешно решать ряд вопросов специфики подъема зданий, трудно решаемых или неразрешимых при использовании систем с серийно выпускаемыми поршневыми домкратами.

Преимущества заключаются в следующем:

1. Соотношение высоты домкрата и его диаметра составляет $\frac{1}{30}$, поэтому его можно применять в зданиях, где горизонтальная составляющая силы от веса здания при подъеме достаточно велика. В такой ситуации опасно применение стандартных поршневых или винтовых домкратов, не рассчитанных на воздействие опрокидывающего момента от горизонтальной составляющей силы.

2. Малая высота плоского домкрата позволяет выполнять домкратные проемы от

150 мм, что значительно снижает объем подготовительных работ.

3. Большой диаметр рабочей части плоского домкрата позволяет вести подъем в диапазоне давлений от 6 до 12 МПа (западные образцы работают на давлениях 45...70 МПа), при этом снижаются требования к запорно-распределительной гидравлической арматуре и самой силовой насосной станции, соответственно уменьшается стоимость системы для подъема и выравнивания¹.

4. Плоский домкрат работает по принципу «шаровой опоры» [4]. Это значит, что при работе домкрата угол между верхней и нижней рабочими мембранами изменяется прямо пропорционально изменению угла наклона здания, что позволяет сохранить неизменной площадь поверхности контакта между домкратом и опорными участками здания при подъеме и, соответственно, неизменное распределение касательных напряжений на участках контакта.

5. Вес плоского домкрата без масла составляет 8 кг, что значительно облегчает монтажные работы в стесненных условиях подвала.

6. Плоский домкрат прост в изготовлении и имеет невысокую стоимость².

7. При рабочем ходе плоского домкрата в 60 мм использование пакета из трех домкратов, монтируемых в одном домкратном проеме, позволяет увеличить рабочий ход до 180 мм, что сравнимо с рабочим ходом поршневых домкратов, применяемых в системах западноевропейских фирм.

2. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДЪЕМА И ВЫРАВНИВАНИЯ ЗДАНИЙ

Применяемые в настоящее время способы устранения сверхнормативных неравномерных и равномерных осадок можно разделить на три группы.

К первой относятся мероприятия, направленные на создание дополнительных деформаций основания под неосевшей частью здания для нивелирования общей осадки, например, регулируемое замачивание (если речь идет о просадочных грунтах), выбуривание грунта из-под подошвы фундамента,

создание различных щелей, шурфов, обеспечение дополнительных нагрузок на основание [5]. Эти мероприятия достаточно апробированы, но не носят массового характера. К основным недостаткам этой группы следует отнести невысокую точность предсказания эволюции процесса выравнивания. Кроме этого, в производстве работ требуются длительное время и большой объем земляных работ. Чрезвычайно проблематично применение выбуривания или регулируемого замачивания на объектах, возведенных на свайных фундаментах.

Подъем зданий с помощью гидравлических домкратных систем позволяет вести контроль процесса выравнивания на всех этапах. Согласованность в управлении домкратными группами дает возможность корректировать положение здания, а также его части, ликвидируя деформации в порядке, обратном их накоплению.

Использование гидроаппаратуры, датчиков перемещений и средств наружного контроля позволяет задавать и контролировать рассогласование хода домкратов с целью недопущения их выхода за пределы величин, предусмотренных СНиП [6].

Перевод здания на регулируемые фундаменты, связанный с устройством домкратных проемов и распределительных поясов, предусматривает возможность дальнейшего использования домкратных систем для корректировки положения здания при возможном рецидиве возникновения неравномерных и равномерных деформаций грунтового основания.

За рубежом активно используют домкратные системы для корректировки положения зданий и сооружений, в основном, на подрабатываемых территориях в Польше, Германии, Чехии, где деформации зданий являются следствием деятельности угольных шахт.

Электрогидравлические системы с поршневыми домкратами фирмы «SAARTECH», «HyBauTech» и «DMT» (Германия) и «Kwant» (Польша) работают давно и успешно. К их достоинствам можно отнести модульную компоновку всех элементов (рис. 2), дистанционное управление, отсутствие разветвленной гидравлической разводки в подвале здания, малый расход масла и удобство транспортировки.



Рис. 2. Модуль для подъема и выравнивания зданий фирмы «DMT»

Однако их использование (рис. 3), как правило, ограничивается 2...4-этажными зданиями. Также слишком велики демонтируемые участки цокольно-подвальной части при выполнении проемов для домкратных модулей.

Проведенные в НИИСК Госстроя СССР в 1976–1978 гг. под руководством В. П. Шумовского разработки позволили создать систему с плоскими домкратами, которая поначалу использовалась при проведении натурных испытаний напряженно-деформированного состояния конструкций зданий. Также экспериментально был выровнен ряд зданий на Украине и в Казахстане.

Базируясь на опыте НИИСКА, в 1993 г. НПО «Интербиотех» создало первую в России электрогидравлическую систему для подъема и выравнивания зданий, рассчитанную на 60 домкратных узлов (рис. 4).

До последнего времени в объединении созданы и успешно работают системы 2-го и 3-го поколений. Система 2-го поколения, рассчитанная на 120 домкратных узлов, базируется на двух автомобилях – насосная станция и пульт управления. В системе 3-го поколения пульт управления и насосная станция скомпонованы в одном автомобиле, и реализована возможность управления 200 домкратами. Гидравлическая схема реализована по одномагистральной схеме, где каждый домкрат включен в магистраль посредством управляемого с пульта управления гидроклапана. Рабочий ход домкрата контролируется

датчиком перемещения, и информация со всех датчиков в режиме реального времени отражается на табло у оператора.



Рис. 3. Поршневые домкраты фирмы «Saartech», установленные под фундаментным поясом здания



Рис. 4. Домкратный пакет с плоскими домкратами

На сегодняшний день закончены испытания мобильного информационно-вычислительного комплекса с функциями управления «Атлант». Данная разработка осуществлена совместно с НИИ МВС ТРТУ (г. Таганрог) и позволяет вести подъем в автоматическом режиме. Возможны одновременное управление 256 домкратными узлами и сбор информации с датчиков по 512 каналам. Основное

отличие системы 4-го поколения – непрерывность подъема с помощью компьютерного управления, причем гидравлические схемы управления домкратами могут быть как одноподкратными, так и модульными, в которых домкрат скомпонован с насосом, «автоматикой» управления и контроля и емкостью для масла [7].

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ВЫРАВНИВАНИЯ

Применяя методики использования электрогидравлических систем с плоскими домкратами на зданиях, получивших в процессе эксплуатации сверхнормативные деформации, мы исходим из гипотезы, что для выполнения всех расчетов, необходимого конструктивного усиления и проведения работ по выравниванию рассматривается взаимосвязанная система «здание–домкраты–фундамент–основание» в отличие от классической схемы «здание–фундамент–основание».

Соответственно и все исследования, проводимые до подъема здания, проводятся комплексно, с сопоставлением и анализами результатов, полученных при натурном обследовании конструкций, инженерно-геологических изысканиях, геодезических исследованиях.

Сложность решения задач, предшествующих моменту правильного выравнивания здания, обусловлена необходимостью грамотного применения набора знаний в областях механики грунтов, инженерной геологии, работы фундаментов, стальных и каменных конструкций, геодезии, гидравлике, кинематике работы сооружения. Поэтому решение, принятое на базе применения стольких дисциплин, не должно содержать ошибок и альтернатив.

Порядок проведения подготовительных работ может быть следующим:

1. Визуальное обследование объекта и участка застройки для предварительного выявления характера и уровня деформаций и повреждений, а также возможного выявления причин деформаций.

2. Изучение типового проекта, а при отсутствии такового – выполнение обмерочных чертежей.

3. Полная съемка пространственной геометрии здания с помощью электронной тахеометрии. Характер пространственной картины деформированного здания позволяет дать предварительную косвенную оценку наиболее напряженных областей как в конструкциях, так и в грунтовом основании. После этого за зданием устанавливается регулярный геодезический контроль.

4. Инженерно-геологические изыскания, на основе которых принимается решение о методике выравнивания и необходимости проведения дополнительных мероприятий (закрепление грунтового основания, усиление фундаментов, конструктивное усиление).

5. Инструментальное обследование цокольно-подвальной части здания, фундаментов и других необходимых участков конструкций для выявления их несущей способности.

6. Предварительная расстановка домкратных узлов на основании сбора нагрузок и реальной несущей способности грунта и конструкций с корректировкой на всех последующих этапах.

7. Составление расчетных схем «системы» и численные исследования ее работы в проектном положении и в положении перевода здания на домкраты и в последующих циклах подъема. По результатам полученных напряженно-деформированных состояний конструкций и основания могут быть скорректированы число и способ расстановки домкратов, назначено дополнительное усиление конструкций цокольно-подвальной части и проемов и даже изменена методика отрыва и подъема здания.

8. Выемка грунта по периметру здания для ликвидации бокового трения при подъеме и удобства монтажа; устройство домкратных проемов и распределительных опорных поясов и усиление участков, подверженных разрушению.

9. Монтаж домкратных узлов, гидравлических и электрических коммуникаций, датчиков и устройств управления.

10. Поэтапные подъем и выравнивание в соответствии с выбранной методикой (один цикл соответствует рабочему ходу домкрата) с технологическими ремонтами для приведения домкратов в исходное состояние и

временной расклинкой поднимаемой и опорной частей здания в процессе перемонтажа.

11. Наружная тахеометрическая съемка в процессе подъема, с помощью которой корректируются данные с датчиков перемещений при изменении абсолютных высотных отметок фундамента здания.

12. Восстановление связей между зданием и фундаментом после окончания подъема, замоноличивание образовавшегося зазора, демонтаж домкратной системы и обратная засыпка пазух в цокольной части с последующим восстановлением отсыпки и инженерных коммуникаций.

4. ИНЖЕНЕРНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Уровень нерешенных вопросов в сравнительно молодой отрасли, каковой является подъем зданий, достаточно велик. Это вопросы, связанные с работой домкрата и усовершенствованием его конструкции, с взаимодействием фундамента и основания при подъеме и многие другие, освещение которых в данной статье нецелесообразно из-за их объема и специфичности.

Примерами могут послужить следующие проблемы. Было установлено, что в зависимости от раздутия домкрата при подъеме, т. е. при выработке им своего рабочего хода, изменяется контактная площадь домкрата. Очевидно, что развиваемое при этом усилие, как величина, напрямую связанная с площадью, снижается при условии, что давление в системе остается постоянным.

Такое изменение связано с особенностью конфигурации домкрата, выполненного в виде сильфона (рис. 5, а, б). В исходном состоянии опорный вкладыш, имеющий радиус скругления такой же, как и радиус сопряжения домкратной мембраны с его тором, полностью контактирует с домкратом своей внутренней поверхностью. При подаче гидравлической жидкости в домкрат, его мембраны раздвигаются, и расстояние между опорными вкладышами увеличивается. Как видно из рис. 5, радиус сопряжения мембран с тором домкрата изменяется, в то время как радиус скругления опорного вкладыша остается неизменным. Очевидно, что при раздутии домкрата изменя-

ется контактная площадь мембраны, определяемая диаметром D_3 (рис. 5, а), что влечет за собой уменьшение усилия на домкрате при постоянном давлении в системе.

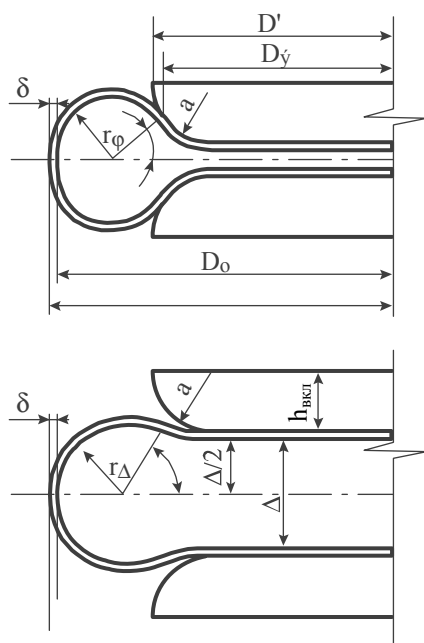


Рис. 5. Геометрические параметры домкрата и контактирующих с ним фасонных вкладышей: в исходном состоянии (а); в раздутом состоянии (б)

Из результатов эксперимента видно, что в процессе выработки рабочего хода домкратом его контактная площадь уменьшилась со 175 до 136 см² (рис. 6), что составляет более 22%.

При дискретных давлениях в системе от 1,25 до 11,2 МПа при раздутии домкрата усилие снижается от 20,2 до 24,3%. Например, при давлении в системе 5,5 МПа усилие на домкрате при выработке им рабочего хода падает с 94,36 до 74,36 т. Изменение усилия на домкрате в процессе его работы имеет нелинейный характер (рис. 6).

Выводы

1. В процессе раздутия контактная площадь стального плоского домкрата уменьшается на 22%.
2. При этом усилие на домкрате падает с 20,2 до 24,3% при постоянных давлениях.
3. Изменения контактной площади и усилий носят нелинейный характер. В данном

случае поправочные коэффициенты неприменимы, а необходимо составление тарифовочных таблиц.

4. При использовании домкратов в составе компьютерной системы управления подъемом данные тарифовочных таблиц должны вноситься в базу исходных данных для управляющей программы и постоянно обновляться в зависимости от смены местоположения или замены домкратов.

5. Целесообразно использовать вместо манометров и датчиков давления датчики силы, установленные в домкратный пакет как штатные элементы. В этом случае реальное изменение картины усилий на домкратах будет передаваться на компьютер для формирования управляющих параметров и корректировки условий подъема в каждый момент времени.

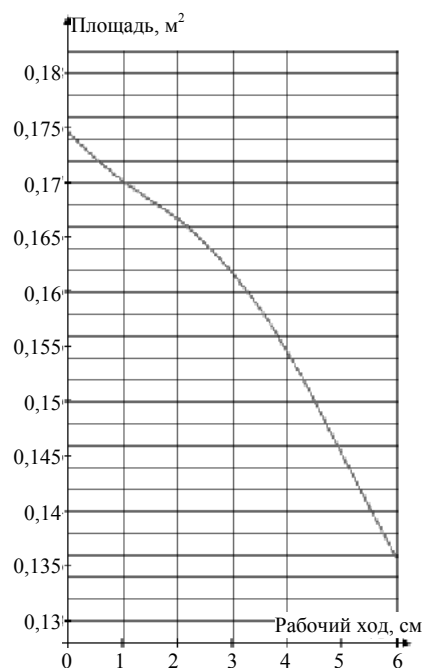


Рис. 6. Зависимость изменения контактной площади от изменения рабочего хода домкрата

Кроме этого, установка разрабатываемых датчиков силы в каждом домкратном узле позволит исследовать реальную картину распределения усилий при подъеме и более точно прогнозировать поведение грунта.

На сегодняшний день разработаны и запатентованы универсальный стальной дом-

крат [8], успешно применяемый для выравнивания сложных зданий, и резиновый домкрат [9], производство которого планируется наладить к запуску системы 4-го поколения.

5. О СПОЛЗАНИИ ЗДАНИЯ С ДОМКРАТНЫХ ОПОР

Еще одним неизбежным и опасным фактором при выравнивании зданий с большими кренами стал эффект соскальзывания здания с домкратов в момент отрыва.

Расчеты показали, что здание не соскальзывает, когда выполняется условие

$$f > i,$$

где i – относительный крен здания; f – наименьший коэффициент трения между элементами домкратного пакета.

Экспериментально определено, что наилучшими парами трения для материалов, используемых в качестве вкладышей, являются сталь–сталь и сталь–дюралюминий; коэффициенты трения, соответственно, будут равны 0,03 и 0,025.

Введя коэффициент запаса 0,9 к коэффициенту трения, мы получим, что максимально возможный относительный крен составит $i = 0,0225$, крен здания может в 4,5 раза превышать нормативный ($i = 0,005$) [6].

Зачастую крены зданий значительно превосходят полученную величину. К примеру, в 1999 г. при выравнивании 9-этажного здания в г. Тбилиси на ул. Готуа, 20, отклонение верхней точки которого составляло 115 см ($i = 0,038$), при отрыве наблюдалось сползание здания с домкратов (рис. 7). Подъем был остановлен.

В качестве элементов домкратного пакета использовались дюралюминиевые вкладыши, работающие в паре с домкратом. Для возобновления работ была изменена технология подъема – цокольная часть, находящаяся над поворотной осью, не отрывалась от фундамента, чем достигалась дополнительная зона трения. После уменьшения крена до безопасного значения (около 70 см) подъем осуществлялся в обычном режиме.



Рис. 7. Крен 9-этажного дома по ул. Готуа, 20 в Тбилиси

Для соблюдения условия $0,9 f \geq i$ необходимо:

1. Использовать для изготовления элементов домкратного пакета материалы с высоким коэффициентом трения.
2. Применять при подъеме технологические приемы, которые позволяют уменьшить крен здания до безопасного значения, оставляя в контакте локальную зону между фундаментом и поднимаемой частью по линии оси поворота здания.
3. По-возможности, осуществлять задавливание грунта со стороны, противоположной крену, для переноса оси поворота внутрь пятна здания и частичной ликвидации крена.

Выполнение пп. 2 и 3 возможно, когда конструктивные особенности здания или грунтовые условия позволяют это осуществить без ущерба для дальнейшей эксплуатации здания.

6. О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФУНДАМЕНТА С ОСНОВАНИЕМ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ЗДАНИЯ НА ДОМКРАТНЫЕ ОПОРЫ

Одним из актуальных является вопрос управления напряженно-деформированным

состоянием грунта на контакте с фундаментом при переводе здания на домкраты, т. е., когда характер передачи нагрузок из линейно распределенных изменяется на дискретные. При такой постановке значительное влияние на напряженно-деформированное состояние грунтового основания оказывают жесткостные параметры цокольно-подвальной части здания и самого здания, количество и способ расстановки домкратов, а также развиваемые усилия в них.

Целью данного исследования являлось определение изменения напряженного состояния по поверхности контакта фундамента с грунтовым основанием при переводе здания на домкраты, а также наличия эффекта заедания фундамента в грунт. Численные и экспериментальные исследования проводились на базе жилого дома в Волгодонске (Ростовская обл.) по ул. Гагарина, 37/3.

Крупнопанельное 9-этажное жилое здание 96-й серии, разработанное институтом КиевЗНИИЭП для условий строительства на просадочных грунтах с величиной просадки от собственного веса до 50 см с поперечными несущими стенами, состоит из 9 блок-секций, разделенных деформационными швами. Выравниваемая блок-секция имеет размеры в плане в осях 23,4×10,2 м (рис. 8). Проект разработан для грунтов со следующими характеристиками основания: $R = 220$ кПа; $\varphi = 22^\circ$; $E_{ср} = 13$ МПа; $\gamma = 1,6$ т/м³.

Неравномерное оседание фундаментов здания было вызвано просадками грунтов в основании вследствие их локального замачивания из водонесущих коммуникаций. Инженерно-геологическими изысканиями установлено, что на площадке строительства залегают просадочные грунты 2-го типа с максимальной величиной просадки от собственного веса от 5 до 40 см. Геологические изыскания выполнены непосредственно перед производством работ по подъему здания.

Фундаменты таврового сечения запроектированы в виде монолитных перекрестных лент шириной 1,2 м, расположенных под всеми наружными и внутренними стенами, выполненными на одной отметке. Расстояние от подошвы домкрата до подошвы фундамента составляет 0,9 м.

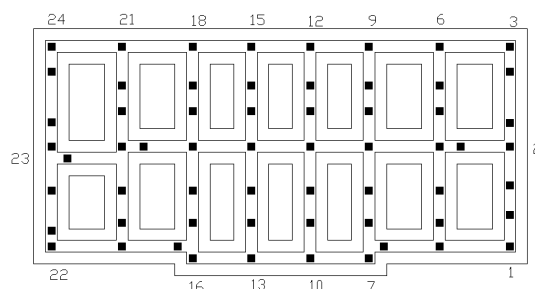


Рис. 8. Схема фундамента и расстановка домкратов (цифрами обозначены марки на фундаментной ленте)

Отклонение здания от вертикали в поперечном направлении составило 32,3 см по продольной оси и 25,2 см – по поперечной. Вес здания – 3800 т, вес фундамента – 545 т, площадь опирания фундамента – 235,44 м². В соответствии с проведенными инструментальными инженерно-геологическими и геодезическими исследованиями было принято решение о закреплении грунтов основания и устранении сверхнормативных кренов методом подъяема и выравнивания.

Для оценки этих величин и выбора способа расстановки домкратов была произведена серия расчетов. Чтобы корректно оценить характер напряжений на контакте, в расчетах необходимо было учесть пространственную работу грунта основания с учетом физической нелинейности; работу фундамента и работу надземных конструкций.

С учетом величины перегрузок, кренов здания и данных инженерно-геологических изысканий с помощью комплекса ANSYS 7.0 было выполнено численное решение контактной задачи. Использовалась упругопластическая модель Друкера–Прагера с известными из инженерно-геологических изысканий механическими параметрами (модуль деформации, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения и силы удельного сцепления).

Аппроксимация грунтов и конструкций здания была выполнена с использованием конечных элементов SOLID45, а фундамента и конструкций – конечными плитными элементами SHELL63. Конечные элементы допускают упругое и упругопластическое поведение грунта и бетона конструкций и фундамента. Жесткость элементов, составляющих расчет-

ную схему здания, принята по конструктивным решениям соответствующих элементов по всей высоте здания.

Все слои грунта в расчетной области приняты однородными, выдержанными по толщине и имеющими горизонтальные границы. В этом случае неравномерность осадок зависит от различия нагрузок на отдельные фундаменты, размеров и формы подошвы фундамента и жесткостных характеристик сооружения, т. е. приняты простые грунтовые условия по взаимодействию сооружения с основанием [10]. Характеристики каждого слоя приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нормативные характеристики грунтов объекта

| Слой | Модуль деформации E , МПа | Плотность γ г/см ³ | Сцепление C , кПа | Угол внутреннего трения φ , °С |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------|--|
| ИГЭ-2 (0,5 м) | 15 | 1,93 | 26 | 22 |
| ИГЭ-3 (1,8 м) | 16 | 1,82 | 24 | 20 |
| ИГЭ-3а (4,1 м) | 5 | 1,9 | 22 | 20 |
| ИГЭ-4а (9,1 м) | 9 | 1,95 | 25 | 20 |

Система дифференциальных уравнений решалась методом сопряженного градиента. При этом использовался метод итераций Ньютона–Рафсона. Сходимость решения оценивалась по узловым усилиям с точностью 0,001.

Было выполнено два типа расчетов: первый – для здания, находящегося в деформиро-

ванном состоянии; второй – для этого же здания, переведенного на точечные домкратные опоры. Напряжения определялись в точках, расположенных на подошве фундамента. Координаты X и Y каждой точки соответствуют координате центра домкрата (рис. 8).

Как видно из табл. 3, значения напряжений для первого и второго состояний практически не различаются, и общая картина напряжений не выходит за рамки расчетного сопротивления. Таким образом, при данной толщине фундамента передача сосредоточенных нагрузок на домкратные опоры не оказывает влияния на изменение контактных напряжений.

При выравнивании этого же здания проводилось наблюдение за осадками фундаментных марок. Было установлено (табл. 4), что величины осадок фундамента при переводе здания на домкраты сравнимы с точностью измерений электронного нивелира. Следовательно, превышение величины расчетного сопротивления отсутствует, что говорит о сходимости результатов расчетов и натурных экспериментов.

На основании данных по этому же зданию проведена серия расчетов, в которых при прочих равных условиях изменялась высота установки домкрата по отношению к подошве фундамента. Из рис. 9 видно, что напряжения на контакте значительно изменяются при монтаже домкрата на более низких высотных отметках.

Таблица 3.

Значения напряжений в точках

| Номера марок (рис. 1) | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 | 9 | 10 | 12 | 13 | 15 | 16 | 18 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| σ_z (без домкратов), кПа | 278 | 191 | 244 | 197 | 213 | 174 | 180 | 173 | 182 | 195 | 216 | 197 | 185 | 276 | 205 | 243 |
| σ_z (на домкратах), кПа | 276 | 195 | 243 | 179 | 212 | 173 | 218 | 172 | 196 | 173 | 216 | 176 | 184 | 275 | 242 | 205 |
| % | 0 | 2 | 0 | 10 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0,8 | -13 | 0 | -12 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 4.

Значения абсолютных осадок

| Номера марок (рис. 1) | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 | 9 | 10 | 12 | 13 | 15 | 16 | 18 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-----|------|-----|-----|---|-----|----|-----|----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| ΔX (без домкратов), кПа | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ΔX (на домкратах), кПа | 0,6 | -1,3 | 0,4 | 0,5 | 0 | 0,3 | 0 | 0,6 | 0 | 0,5 | -0,7 | 1,2 | 1,5 | -1,6 | 0,1 | 1,2 |

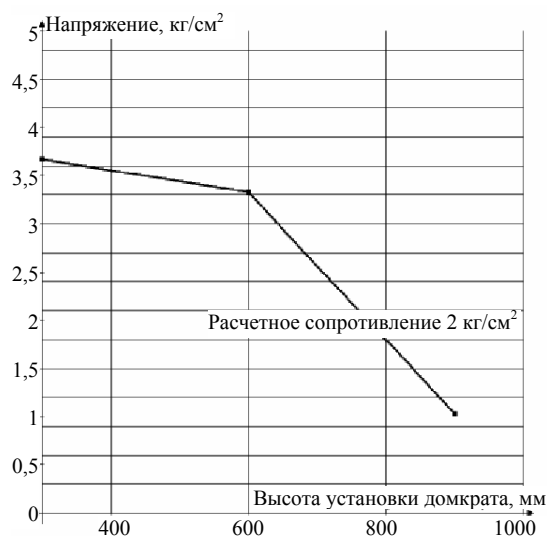


Рис. 9. Зависимость контактных напряжений от высоты установки домкрата

Следовательно, для данного типа фундамента и расчетного сопротивления грунта $R = 220$ кПа высота установки домкрата над подошвой фундамента должна быть не меньше 750 мм, когда контактные напряжения не должны превышать расчетное сопротивление грунта.

Исходя из полученных результатов мы получаем инструмент для управления напряженно-деформированным состоянием основания при выравнивании зданий.

7. МЕТОДИКИ ВЫРАВНИВАНИЯ ЗДАНИЙ ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ

Во многих случаях целесообразно и экономически выгодно доуплотнить грунт с помощью домкратной системы, установленной под зданием, не прибегая к дополнительному закреплению грунтов основания. В таком случае, решая численные задачи, описывающие поведение здания при подъеме, меняя количество и способ расстановки домкратов, можно добиться достаточно качественного прогноза поведения системы здание–домкратная группа–фундамент–основание.

В НПО «Интербиотех» существует несколько методик и ряд технических приемов

для выравнивания зданий с различными конструктивными схемами.

Первая методика исходит из гипотезы, что основание при выравнивании не должно испытывать перегрузок, т. е. напряжения на контакте не должны превышать расчетное сопротивление грунта. Методика применяется при относительном крене здания не больше $2,5 \dots 3i$ (где $i = 0,005$ [6]) и при нежелательности по результатам инженерно-геологических изысканий дополнительных деформаций основания под зданием.

Вторая методика заключается в расчетном воздействии на основание с целью его задавливания. Численным расчетом обосновываются количество, расстановка и высотные отметки домкратов, а также применяется технология локального включения домкратов. Использование последней приводит к догрузке неработающих домкратов, выполняющих роль несжимаемых дискретных опор со стороны, противоположной крену здания. При этом создается перегрузка грунтового основания со стороны, противоположной крену, что приводит к задавливанию фундаментов и уменьшению крена без выполнения работы по подъему здания. Другими словами, механизм происходящего может быть представлен как перенос оси поворота здания с крайней продольной оси внутрь пятна здания.

Список литературы

1. Зотов М. В. Выравнивание многоэтажных зданий в условиях сейсмических воздействий // Основания, фундаменты и механика грунтов / НИИОСП. М., 2003. № 4. С. 25–27.
2. Подъем и выравнивание аварийных зданий / Ю. К. Болотов, В. И. Гапеев, В. Д. Зотов, М. В. Зотов, О. И. Лобов // Промышленное и гражданское строительство. М., 1999. №2. С. 14–16.
3. Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М.: Бумажная галерея, 2000. С. 31–39.
4. Опыт выравнивания зданий с помощью домкратов / Ю. К. Болотов, В. Д. Зотов, М. В. Зотов, Л. Н. Панасюк, Е. А. Сорочан // Основания, фундаменты и механика грунтов / НИИОСП. М., 2002. №5. С. 22–25.

5. *Повышение* надежности зданий и сооружений при строительстве на просадочных грунтах. Ростов-на-Дону: Литера-Д, 1993.

6. *Строительные* нормы и правила. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. СНиП 2.01.09–91. М.: Стройиздат, 1991.

7. *Автоматизированная* система подъема сооружений «Атлант» / Ю. К. Болотов, М. В. Зотов, О. П. Катаев и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. №3. С. 38–40.

8. *Устройство* для корректировки положения здания, сооружения: Патент РФ №2209272 / Ю. К. Болотов, В. Д. Зотов, М. В. Зотов, Л. Н. Панасюк // Бюллетень №21 от 27.07.2002.

9. *Устройство* для корректировки положения здания, сооружения: Патент РФ №2195532 /

Ю. К. Болотов, В. Д. Зотов, М. В. Зотов, Л. Н. Панасюк // Бюллетень №36 от 27.12.2003.

10. *Клепиков С. Н.* Расчет сооружений на деформируемом основании / Киев, НИИСК. 1996.

Примечания

¹ Стоимость системы для подъема зданий, работающей в полуавтоматическом режиме, на 60...70 домкратных узлов фирмы «Saartech» составляет 900 тыс....1млн. дол. Стоимость автоматической системы НПО «Интербиотех» на 256 домкратных узлов составляет 200...250 тыс. дол.

² Стоимость поршневого домкрата фирмы «Мессершмит», применяемого в системе фирмы «Saartech», составляет 2...3 тыс. дол. Стоимость плоского домкрата производства НПО «Интербиотех» – 100 дол.