



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ОСНОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ КАРСТА И НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

УДК 624.159.14

АВТОР

СЕМЕНЮК С.Д., д-р техн. наук, заведующий кафедрой ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

В статье приведены основы деформирования земной поверхности в условиях образования карста и на подрабатываемых территориях. Дан анализ происходящих процессов и их влияние на конструкции зданий и сооружений

The deformation principles of the terrestrial surface under karst formation conditions and on the anthropogenic soils are presented in the article. The analysis of ongoing processes and their influence on the building constructions are given.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

карст, подрабатываемые территории, мульда, здания, сооружения

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Неравномерные деформации основания могут вызываться внешней статической нагрузкой или деформированием земной поверхности. Деформирование поверхности земли происходит вследствие подработки угольных, калийных и рудных месторождений, подтопления территорий, замачивания просадочных грунтов, карстовых и тектонических явлений. Неравномерные деформации основания, возникающие при возведении и эксплуатации зданий в сложных грунтовых условиях, следует считать одним из основных факторов, влияющих на их несущую способность, деформативность и долговечность. К категориям сложных грунтовых условий относятся территории, где в результате развития деформационных или динамических процессов в грунтах возникает опасность повреждения или разрушения зданий и сооружений [1].

Обеспечение безотказной работы конструкций зданий и сооружений – одна из важнейших проблем строительной науки. Основные причины обуславливающие эту проблему: в состав современных зданий и сооружений входит множество элементов со сложным характером взаимодействия как между собой, так и с окружающей средой; многие здания и сооружения имеют национальную и общечеловеческую ценность. Нарушение безотказности работы таких зданий и сооружений может привести к большим материальным и моральным затратам. Поиск рациональных решений, обеспечивающих повышение надежности и качества объектов строительства при минимальном использовании ресурсов на их устройство, является кон-



цептуальной стратегией современного строительства [2].

Примеры деформаций зданий и сооружений, вызванных недооценкой сложных грунтовых условий строительства, приведены в многочисленных публикациях отечественных и зарубежных авторов [2...5]. При анализе этих примеров обнаруживается соответствие форм деформаций сооружений, построенных в разнообразных условиях. Независимо от причин, приводящих к деформациям грунтов, все эти воздействия со стороны оснований на сооружения сводятся к неравномерным вертикальным и горизонтальным перемещениям оснований.

Следствием неравномерных вертикальных перемещений основания являются наблюдаемые крены сооружений, различные формы их деформаций изгиба, сдвига и кручения. Эти деформации проявляются как в чистом виде, так и в различных сочетаниях: кручение с изгибом, сжатие с кручением и т.п. Неравномерные горизонтальные перемещения основания оказывают воздействие на подземные части сооружения в виде сдвигающих сил по боковым поверхностям и подошвам фундаментов, а также в результате нормального давления сдвигающего грунта на лобовые поверхности фундаментов.

Цель статьи – по исследованиям деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях и в условиях образования карста разработать мероприятия по обеспечению геостойкости зданий и сооружений при неравномерном деформировании основания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Явление карста и связанные с ним деформации основания

Карст – явления, связанные с растворением природными водами горных пород (гипс, известняки, мел, каменная соль и др.). Характеризуется комплексом подземных и поверхностных форм рельефа, своеобразием циркуляции и режима подземных вод, речной сети и озер.

Н.А. Гвоздецкий [6] отмечает, что «к карстовым следует относить явления, развивающиеся во всех растворимых природными водами горных породах: в известняке, доломите, в меле и иногда в мелоподобном мергеле, мраморе, а также в гипсе, ангидрите, каменной соли, калийных, калийно-магниевого и других соляных породах. В основе их возникновения лежит химический процесс растворения горной породы и геологиче-

ский процесс ее выщелачивания, т.е. растворение с удалением (выносом) растворенного вещества».

По данным [6] территория Беларуси расположена в трех карстовых областях. Север и северо-запад республики расположены в Белорусско-Прибалтийской области; Белорусское Полесье, западный, центральный и восточные регионы Беларуси охватывает Полесско-Прибалтийская область; юго-восточный регион – Украинско-Донецкая карстовая область. В развитии карста заметную роль играют эндогеодинамические факторы и это необходимо учитывать при инженерных изысканиях и проектировании различных видов строительства.

По литологическим признакам различают карбонатный, меловый, гипсовый и соляной типы карстов.

Карбонатный карст распространен наиболее широко. Характеризуется медленным растворением пород в природных условиях, благодаря чему может не учитываться возможность образования карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений.

Меловой карст достаточно широко распространен в пределах Восточной Европы. Этот тип карста – разновидность карбонатного. Развивается медленно. Характеризуется малой растворимостью мела и довольно высокой пористостью. Меловые породы легко размываемы, поэтому при увлажнении их несущая способность понижается, а при динамических воздействиях возможен переход обводненного мела в разжиженное состояние. Трещиноватость и водонепроницаемость мела различны, коэффициент фильтрации может превышать десятки метров в сутки. Провалы возникают редко, по размерам невелики.

Гипсовый карст распространен довольно широко, встречается в сочетании с карбонатным. Этот

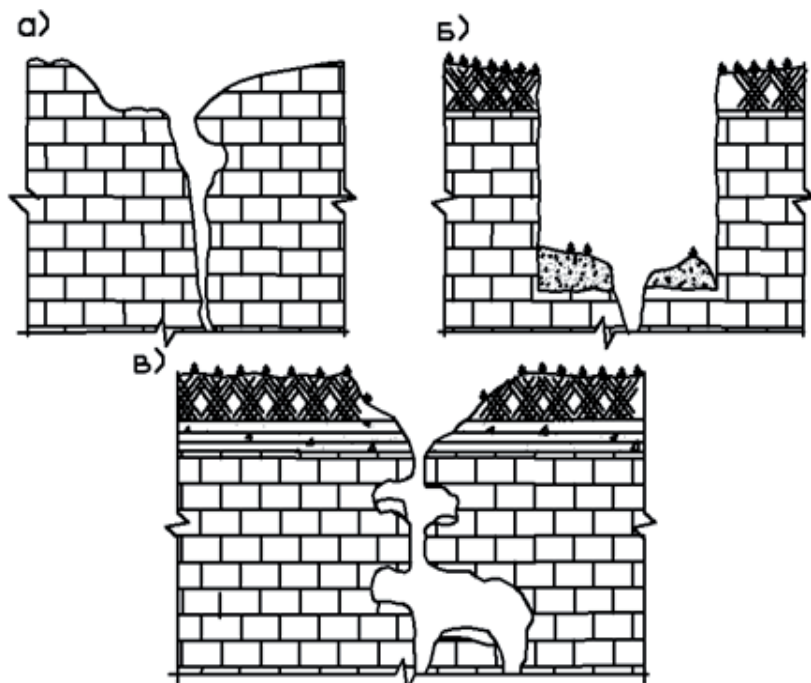


Рис. 1. Основные генетические типы карстовых воронок: а - воронка поверхностного выщелачивания; б - провальная воронка; в - воронка просасывания



тип карста развивается быстрее карбонатного, обладает значительной растворимостью пород [7]. Гипсы малопористы, в основном слабо трещиноваты и практически водонепроницаемы. Гипсовый карст характеризуется неравномерным развитием - в основном, по контакту с водонепроницаемыми породами. Провалы возникают часто.

Соляной карст встречается в сочетании с гипсовым и карбонатным и, вследствие растворимости каменной соли, при благоприятных гидрогеологических условиях развивается быстро. Поскольку соль отличается высокой пластичностью, трещины в ней редки, пористость мала. Развитие карста в естественных условиях ограничено. Разработка соляных месторождений вызывает активизацию карста [8]. Активный соляной карст очень опасен. Происходит быстрое растворение пород, образуются частые провалы, иногда очень крупные. Кроме того, происходит оседание земной поверхности на значительных площадках (мульды оседания). При строительстве в карстовых районах необходимо учитывать вид карста.

С позиции изменения формы земной поверхности различают карстовые деформации: провалы; мульды оседания (постепенные длительные оседания на больших площадях); постепенные небольшие по площади локальные оседания, в том числе воронки, блюдца и западины. Подготовка деформаций протекает на определенной глубине длительное время, но на поверхности провальный процесс происходит (условно) - мгновенно. Сначала на поверхности появляются трещины, по которым происходит обрушение грунта, и возникает воронка. Далее стенки воронки сползают, обваливаются, размеры воронки растут. По данным [9] в песчаных и глинистых грунтах продолжительность формирования провала составляет при $R \leq 10$ м - не более нескольких минут; при $R = 20...30$ м -

15...30 мин; при $R \leq 50$ м - 1-3 ч. Размеры провалов зависят от геологических и гидрогеологических условий: в одних районах они не превосходят 5...10 м, в других - 50 м, а иногда - 100...300 м. Глубина провалов - до нескольких метров, иногда до нескольких десятков метров. Для сухих, рыхлых и слабосвязных грунтов отношение глубины к диаметру провала составляет 0,3...0,5; в обводненных рыхлых грунтах это отношение уменьшается. Вокруг провалов обычно бывает ослабленная зона с пониженной несущей способностью (рис. 2).

В зависимости от прогнозируемых диаметров провалов D_n , закарстованные территории подразделяются на четыре группы (табл.1).

Степень ослабления основания вокруг провала характеризуется отношением модуля деформации E_0 грунта за пределами зоны ослабленного основания к модулю деформации E_{01} на краю провала, обычно $\beta = E_0 / E_{01}$. Ширину зоны ослабленного основания вокруг провала n , как и степень ослабления β , зависящую от типа грунта, его состояния, формы и глубины провала H_n , а также механизма деформации, в первом приближении определяют по данным, приведенным в табл. 1.

Таблица 1. Диаметры провалов для групп закарстованных территорий

Группа территорий	I n	II n	III n	IV n
Диаметр провала D_n , м	$D_n \geq 20$	$20 \geq D_n > 10$	$10 \geq D_n > 3$	$D_n < 3$

Б. Деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях

При выработке в недрах земли полезных ископаемых (уголь, руда, соли и т.п.) в толще пород образуются пустоты, которые провоцируют развитие дополнительных напряжений от массива вышележащих горных пород. Как взаимодействуют возникающие силы массива горных пород, каковы их взаимовлияния, соответствующим образом проявляет себя и природно-техническая система «массив горных пород – выработка». В одних случаях она будет устойчивой не только в процессе проходки, но и в течение всего длительного периода эксплуатации. В других случаях устойчивость горных пород нарушается вслед за проходкой, что влечет оседание земной поверхности. И тогда выработка вызывает сдвигание вышележащих горных пород, сопровождающееся опусканием земной поверхности и образованием мульды [10]. При разработке крутопадающих угольных и соляных пластов на земной поверхности появляются значительные трещины или уступы. Выработки полезных ископаемых даже в условиях самых больших глубин вызывают

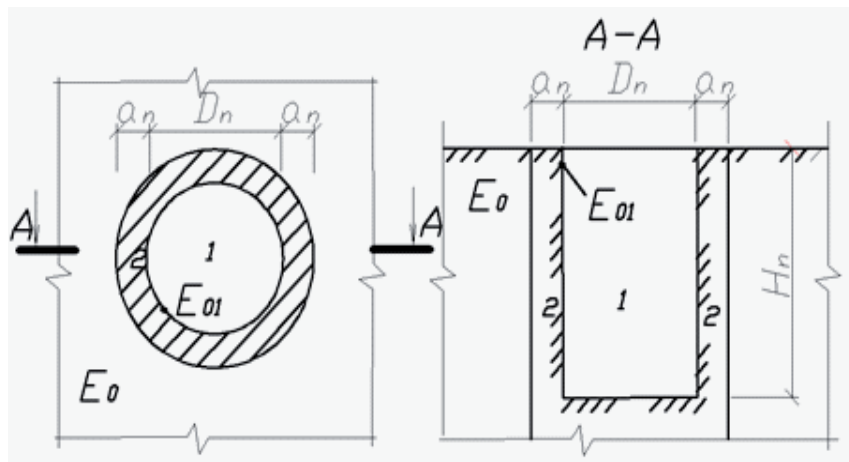


Рис. 2. Схема провала и его характеристики:

1 - провальная воронка; 2 - зона ослабленного основания; D_n - диаметр провала; n - ширина зоны ослабленного основания; E_0 - модуль деформации коренного основания; E_{01} - модуль деформации на краю провала.



потерю равновесия и сдвигание горных пород на всем протяжении от выработки до земной поверхности. Наземные здания и сооружения в зоне влияния горных выработок неизбежно будут претерпевать деформации, повреждения, а иногда и разрушаться. При проектировании зданий и сооружений на подрабатываемых территориях используются идеализированные схемы деформации поверхности основания (рис. 3). Неравномерные вертикальные оседания при плавной мульде сдвигания определяются по радиусу кривизны R , км, земной поверхности (рис. 3, а,б); при ступенчатой мульде – высотой уступа h , см, (рис. 3,в) при длине сооружения L . Эпюра горизонтальных перемещений точек основания при ожидаемых относительных горизонтальных деформациях ϵ , мм/м, принимается в виде двух треугольников. Так для растяжения (рис. 3, г) и для сжатия (рис. 3, д) наклон основания i по прямой линии (рис. 3,е).

прикрывающих пород, размеров очистной выработки и способа управления кровлей, а также от характера сдвигания наносов. Продолжительность процесса зависит от выработки одного пласта и колеблется в пределах от 2 до 44 месяцев. За окончание процесса сдвигания принимается время, после которого в течение 6 месяцев суммарное оседание не превышает 30 мм.

При отработке пластов полезных ископаемых точки земной поверхности в мульде сдвигания перемещаются одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях по сложным траекториям. Полный вектор их перемещения направлен к центру тяжести выработанного пространства. Вертикальная составляющая этого вектора называется вертикальным сдвижением – оседанием земной поверхности η , а горизонтальная – горизонтальным сдвижением ξ . Неравномерность вертикального и горизонтального сдвигения выражается относительными деформациями.

Относительную вертикальную деформацию выражает наклон i . Неравномерность оседаний точек земной поверхности в мульде сдвигания характеризуется разностью наклонов в двух точках Δi , отнесенных к расстоянию между ними. Эта характеристика называется кривизной K , обратная кривизне величина – радиус кривизны земной поверхности. Относительная горизонтальная деформация ϵ характеризует растяжение или сжатие участка между двумя рассматриваемыми точками. На краях мульды сдвигания возникают зоны с кривизной выпуклости и горизонтальными деформациями растяжения, а в средней части – с кривизной вогнутости и деформациями сжатия. В точке перегиба мульды имеет место максимальный наклон (рис. 4).

В зависимости от деформаций земной поверхности подрабатываемые территории условно подразделяются на четыре группы (табл. 2).

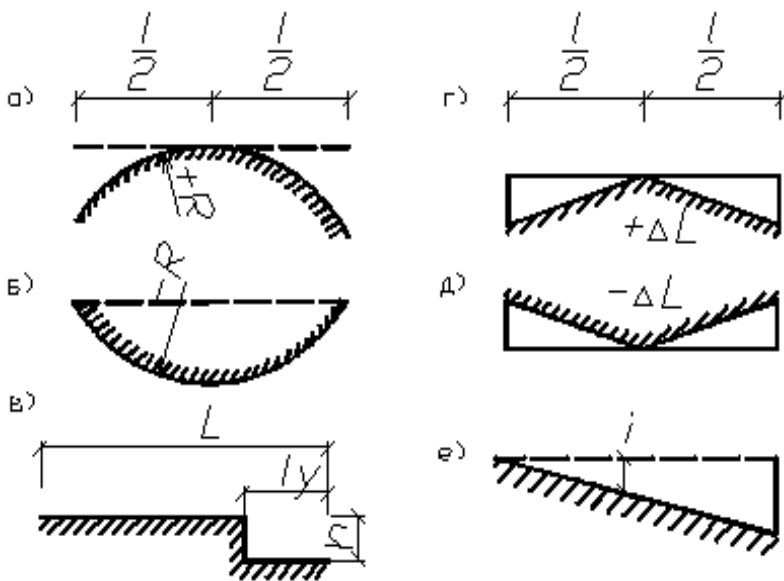


Рис. 3. Расчетные схемы деформирования поверхности основания на подрабатываемых территориях.

Деформации земной поверхности являются существенно изменчивыми случайными величинами и для их количественной оценки следует использовать методы математической статистики и теории вероятности. Воздействиями от подработки являются сдвигание и деформации земной поверхности. Сдвигание – это перемещение и деформирование горных пород под воздействием неуравновешенных гравитационных сил. Основные формы сдвигания – прогиб, обрушение и сползание. Продолжительность процесса сдвигания земной поверхности зависит от мощности пласта, глубины его разработки, угла падения, скорости подвижки забоя лавы, состава и крепости

Деформации грунтовых массивов, возникающие в процессе подработки, приводят к ухудшению физико-механических свойств оснований зданий

Таблица 1. Деформации земной поверхности для групп территорий

Группа территорий	Деформация земной поверхности подрабатываемых территорий			
	радиус кривизны R , км	высота уступа h , см	относительная горизонтальная деформация ϵ , мм/м	наклон i , мм/м
I	$1 \leq R < 3$	$25 \geq h > 15$	$12 \geq \epsilon > 8$	$20 \geq i > 10$
II	$3 \leq R < 7$	$15 \geq h > 10$	$8 \geq \epsilon > 5$	$10 \geq i > 7$
III	$7 \leq R < 12$	$10 \geq h > 5$	$5 \geq \epsilon > 3$	$7 \geq i > 5$
IV	$12 \leq R < 20$	$5 \geq h > 0$	$3 \geq \epsilon > 0$	$5 \geq i > 0$



и сооружений. Так, экспериментальными исследованиями, проведенными в Донецком и Карагандинском угольных бассейнах, установлено, что в период подработки коэффициент пористости увеличивается на 6...8 %, угол внутреннего трения - на 2...3 %, объемная масса уменьшается на 2...3 %, сцепление - на 20-40 %, модуль деформации - на 15...20 %. При этом снижение модуля деформации грунта и сцепления наблюдалось как в зоне растяжения, так и сжатия.

Попытки получить эмпирические формулы для определения значений сцепления и модуля деформации грунта в зависимости от относительных горизонтальных деформаций земной поверхности не могут быть признаны достоверными из-за весьма ограниченных опытных данных, большого разброса определяемых характеристик и отсутствия детальных сведений о фактических горизонтальных деформациях земной поверхности в точках отбора образцов грунта.

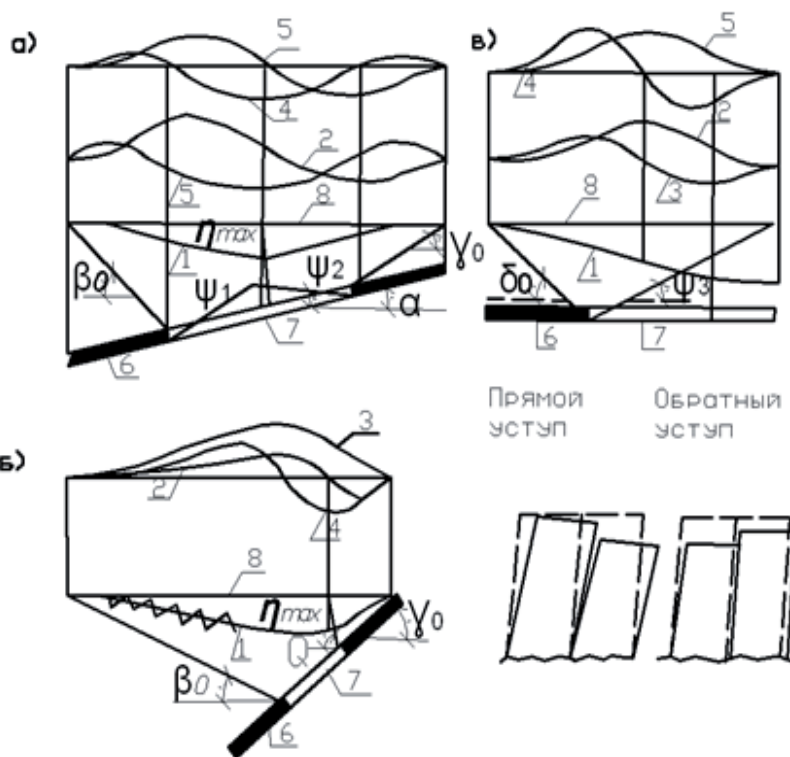


Рис. 4. Характер распределения сдвигов и деформаций в мульде:

а – вертикальный разрез в крест простирания при наклонном залегании пласта; б – то же при крутом залегании пласта; в – вертикальный разрез по простиранию пластов; 1 – кривые оседаний; 2 – эпюры наклонов; 3 – эпюры кривизны; 4 – эпюры относительных горизонтальных деформаций; 5 – эпюры горизонтальных сдвигов; 6 – пласт; 7 – очистная выработка; 8 – положение земной поверхности до подработки; η_{max} – максимальное оседание земной поверхности; $\beta_0, \gamma_0, \delta_0$ – граничные углы сдвижения; ψ_1, ψ_2, ψ_3 – углы полных сдвижений; θ – угол максимального оседания; α – угол падения пласта.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГЕОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А. Инженерно-геологические и строительно-конструктивные мероприятия по защите зданий в закарстовых районах.

К инженерно-геологическим мероприятиям относятся: тампонирование трещин и полостей в закарстовом массиве цементным раствором, бетоном или безцементными нерастворяемыми материалами; закрепление всей толщи несвязных грунтов цементацией, силикатизацией или карбо-нидными смолами; искусственное изменение гидрогеологической обстановки, обеспечивающее замедленное или полное прекращение карстового или карстово-суффозионного процесса.

Строительно-конструктивные мероприятия предусматривают: усиление несущих конструкций и их объединение в пространственные жесткие блоки; устройство неразрезных монолитных ленточных железобетонных фундаментов или фундаментов в виде системы перекрестных балок; сплошных плоских или ребристых плит, плит коробчатого сечения; устройство поэтажных железобетонных поясов, связей, и т.п; устройство специальных фундаментов с применением буронабивных опор.

При этом минимальная длина фундамента должна приниматься

$$L \geq 5 D_n, \quad (1)$$

где D_n – диаметр провальной воронки.

Для замоноличивания провальных воронок,

образовавшихся под зданием, и исключения возможности их развития следует предусматривать устройство в полых или фундаментных плитах систем для нагнетания раствора, мелкозернистого бетона или сухих грунтовых смесей в провальные воронки.

Для восприятия горизонтальных растягивающих усилий в верхней и нижней части цокольных панелей следует предусматривать арматурные пояса с соединением арматурных выпусков в местах стыков панелей с последующим замоноличиванием соединений. Бетон моноличивания при этом образует шпонки, воспринимающие вместе с монолитным фундаментом вертикальную перерезывающую силу.

Б. Мероприятия по защите зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.

При расчете зданий на воздействие от подработки в качестве исходных данных принимаются деформации земной поверхности в районах расположения объекта. Здания и сооружения могут проектироваться по жесткой, податливой или комбинированной конструктивной схемами. Основной мерой защиты является разрезка зданий на замкнутые прямоугольные отсеки поперечными деформационными швами. Для жесткой конструктивной схемы кроме разрезки на отсеки рекомен-



дуются усиление отдельных элементов несущих конструкций; объединение несущих конструкций в жесткие пространственные системы; устройство фундаментных и поэтажных железобетонных поясов; устройство фундаментов в виде сплошных железобетонных плит; перекрестных балок или балок стенок.

При проектировании по податливой схеме, кроме разрезок на отсеки, применяют защитные мероприятия: устройство в фундаментной части здания горизонтального шва скольжения; введение шарнирных и податливых сопряжений между элементами несущих и ограждающих конструкций; снижение жесткости несущих конструкций; введение гибких связей и компенсационных устройств.

Для комбинированной конструктивной схемы могут применяться сочетания мер защиты, рекомендуемых для жестких и податливых схем.

В качестве горных мер защиты может применяться: полная или частичная закладка выработанного пространства; разработка пластов с разрывом во времени и рассредоточение горных работ в пространстве; неполная выемка полезных ископаемых. В районах, где неравномерные деформации земной поверхности могут достигать значительных величин, а также, когда общая деформативность зданий (например, крена) может достигать недопустимых величин, можно применять поддомкрачивание [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усилия в зданиях и сооружениях, рассчитываемых на воздействия деформаций земной поверхности, зависят главным образом от деформационных и прочностных характеристик грунта. Поэтому учет взаимодействия основания с конструкциями фундамента является наиболее важным при решении контактной задачи. Воздействия в виде смещений и изменения жесткости основания, как правило, проявляются во время эксплуатации зданий и сооружений. Это приводит к перераспределению контактных напряжений вплоть до отрыва фундаментов от основания и нарушения прочности грунта на отдельных участках. Особенностью работы зданий в подобных условиях является то, что контактные напряжения изменяются при постоянной внешней нагрузке, но общий объем эпюры контактных напряжений на любой стадии деформирования основания остается одним и тем же.

Для обеспечения безотказной работы при эксплуатации и предотвращении аварий зданий и сооружений, возводимых на неравномерно деформируемом основании была предложена конструкция сборно-монолитного фундамента с жестким сопряжением в узлах [2]. Для жилых домов серии 1.21 такая конструкция была изготовлена и испытана в составе жилого дома в г. Теплогорске (1985г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Черный Г.И. Геотехнические процессы в сложных грунтовых условиях Украины / Черный Г.И., Черный В.Г. // Світ геотехніки. - К.: НДІБК, 2000. – Вип. 53 - С. 4-9.
2. Семенюк С.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании: монография / Семенюк С.Д. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2003. – 269 с.
3. Проектирование и защита производственных зданий в особых условиях / [Метелюк Н.Е., Бучинский Ю.А., Коваленко М.А., Горновесова Т.Г.]. – Киев: Будівельник, 1984. – 176 с.
4. Kwjatek I. Wplyw poziomego zozlyznienia podloza na bydowle. Oczzona-terenowgornizych // Int. N.a.s Building. – Warszawa, 1976. - №3. – P. 43-46
5. Клепиков С.Н. Проектирование и строительство зданий и сооружений на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях / Клепиков С.Н., Розенфельд И.А. – Киев: Знание, 1978. – 28с.
6. Гвоздецкий Н.А. Карст / Гвоздецкий Н.А. – М.: Мысль, 1981.-214 с.
7. Петрухин В.П. Французский опыт строительства на закарстованных территориях / Петрухин В.П. Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. - №5. – С. 25-27
8. Вопросы проектирования зданий и сооружений в карстовых районах. / [Пушкарев В.В., Толмачев В.В., Метелюк Н.Е., Зайцев Г.П.]// Ком-плексная оценка грунтов и инженерно-геологических процессов. – М.: Стройиздат, 1982. – С. 102-111.
9. Метелюк Н.С. Защита зданий и сооружений в карстовых районах./ Метелюк Н.Е. Здания и сооружения в сложных инженерно-геологических условиях. – Киев: Будівельник, 1982. – С. 102-111.
10. Пашкин Е.М. Породные конструкции и их роль в формировании устойчивости подземных выработок / Пашкин Е.М. Инженерная геология. – 1992. – №1. С. 3-12.
11. Шумовский В.П. Режим выравнивания зданий и сооружений домкратными системами / Шумовский В.П. Здания и сооружения в сложных инженерно-геологических условиях. – Киев: Будівельник, 1982. – С. 101-105.