

На правах рукописи



ЖУР Вячеслав Николаевич

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В МАССИВАХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ НА ПОДРАБОТАННЫХ  
ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА**

Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,  
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тула – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственной технической университете» на кафедре «Инженерная геология, основания и фундаменты», г. Ростов-на-Дону.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**ПРОКОПОВ Альберт Юрьевич.**

Официальные оппоненты:

**ПЛЕШКО Михаил Степанович**, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", г. Москва, профессор кафедры «Строительство подземных сооружений и горных предприятий»;

**ВОРОНИНА Ирина Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», доцент кафедры «Механика материалов».

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова», г. Новочеркасск.

Защита диссертации состоится «20» ноября 2019 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.04 при Тульском государственном университете по адресу: 300012, г. Тула, просп. Ленина, д. 90, 6-й уч. корпус, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тульского государственного университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 300012, г. Тула, просп. Ленина, 92, Ученый совет ТулГУ, факс: (4872) 35-81-81.

Автореферат разослан «20» сентября 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Стась Галина Викторовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы** обусловлена развивающимися геомеханическими процессами, оказывающими негативное влияние на здания и сооружения градопромышленных территорий Восточного Донбасса. Реструктуризация угольной промышленности России, начатая в 90-е годы XX века, вызвала массовое закрытие убыточных шахт. Ликвидация горных выработок чаще всего осуществлялась «мокрым» способом, при котором прекращался процесс откачки воды из выработанного пространства с его последующим самопроизвольным затоплением. В результате произошло нарушение естественного гидрогеологического режима, сопровождающееся техногенным подтоплением селитебных территорий из-за поступления высокоминерализованных шахтных вод в верхние слои четвертичных отложений.

Другой целью массового закрытия шахт было снижение негативного воздействия на экологию, однако в настоящее время наблюдается обратный эффект. Это вызвано тем, что ликвидация подземных выработок не была подкреплена обоснованными проектными решениями и не контролировалась должным образом.

В пределах территорий с жилой застройкой в таких крупных горняцких городах как Шахты, Новошахтинск, Гуково и др. остаются зоны с подземными горными выработками, в пределах которых образовались мульды сдвижения. С учетом условий, при которых происходило массовое закрытие угольных шахт, задача по оценке негативного влияния геомеханических процессов на здания и сооружения существенно усложняется.

Помимо подтопления и подработки на устойчивость сооружений в процессе эксплуатации оказывает влияние структурная неустойчивость просадочных грунтов. При водонасыщении, которое чаще всего вызвано техногенным подтоплением, возникает разрушение структуры грунта, резко снижается его несущая способность, что сопровождается процессом просадки как от собственного веса, так и от прилагаемых нагрузок.

В начале XXI века социально-экономическое состояние шахтерских городов постепенно улучшается, происходит переориентирование промышленности, в рамках приоритетной программы «Комплексное развитие моногородов» создаются территории опережающего развития. Поэтому задача оценки совместного влияния подработки и просадки на здания и сооружения остается актуальной не только для существующей застройки, но и для планирования новых градопромышленных территорий, где возможно проявление геомеханических процессов.

**Целью работы** является установление закономерностей изменения геомеханического состояния грунтовых массивов, возникающего вследствие совместного влияния подработки территорий и просадки грунтов при подтоплении, для оценки технического состояния зданий и сооружений по уровням допустимых и предельных деформаций.

**Идея работы** заключается в том, что оценка технического состояния зданий и сооружений производится по комплексному показателю деформаций, учитывающему геомеханические процессы вследствие подработки и водонасыщения просадочных грунтов.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач в работе используется комплексный метод исследований, включающий статистический анализ данных по аварийному жилому фонду городов Восточного Донбасса; картографический метод определения типов зон по характеру воздействия на наземные объекты; численное моделирование системы «основание – здание» методом конечных элементов; аналитические методы механики грунтов и строительной механики; технико-экономический анализ.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Градопромышленные территории Восточного Донбасса районированы, исходя из распространения и пересечения областей подработки, залегания просадочных грунтов и подтопления.

2. Процессы сдвижения при подработке и процессы просадки грунтов при подтоплении выражаются общим набором параметров: вертикальные и горизонтальные перемещения, наклоны, кривизна и относительные горизонтальные деформации, которые могут суммироваться и использоваться для определения комплексного показателя деформаций зданий и сооружений.

3. Критерием прогнозирования геомеханических процессов для оценки технического состояния наземных объектов является комплексный показатель деформаций, зависящий от геометрических параметров здания, горизонтальных деформаций и кривизны, определяемых в точках поверхности при совместном воздействии подработки и просадки грунта вследствие подтопления.

4. Техническое состояние объектов, подверженных одновременному влиянию геомеханических процессов вследствие подработки, просадки и подтопления, оценивается максимальной величиной комплексного показателя деформаций, найденного в пределах контура сооружения.

**Новизна научных результатов работы** обусловлена следующими положениями:

- разработан метод картографического районирования территорий городской застройки по категориям опасности развития геомеханических процессов в грунтовых массивах, исходя из распространения и сочетания областей подработки, залегания просадочных грунтов и подтопления, на основании которого выделены характерные зоны, классифицируемые как нейтральные, предупреждающие, опасные и критические по уровню и характеру негативного воздействия на поверхностные сооружения;

- разработан метод расчета и получены закономерности деформирования пород, позволяющие осуществлять количественную оценку вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций, наклонов и кривизны земной поверхности при просадке грунтовых массивов вследствие их подтопления в зависимости от физико-механических свойств пород, мощности и типа просадочной толщи, а также от направления и геометрических размеров участка водонасыщения;

- установлены закономерности сдвижений и деформаций земной поверхности, исходя из совместного влияния подработки территорий и просадки водонасыщенных грунтовых массивов в условиях Восточного Донбасса, позволяющие оценивать техническое состояние наземных сооружений по уровням допустимых и предельных деформаций;

- предложен критерий оценки влияния геомеханических процессов в грунтовой толще на техническое состояние наземных сооружений, основанный на расчетном показателе максимальных деформаций, зависящем от размеров зданий и отличающемся учетом горизонтальных деформаций и кривизны земной поверхности при просадке грунтов вследствие подтопления на подработанных территориях.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечивается результатами многолетних наблюдений за процессами сдвижений вследствие подработки и просадки грунтов; статистическим анализом данных об аварийном жилом фонде на территории городов Восточного Донбасса; совпадением выделенных картографическим методом опасных зон с участками фактического сосредоточения аварийных зданий и сооружений; достоверными данными о распространении четвертичных отложений на территории Восточного Донбасса; использованием апробированных программных комплексов и методов расчета параметров НДС массива горных пород, используемого в качестве основания для сооружений; применением апробированных методов теории дифференциальной геометрии кривых, механики грунтов, математической статистики.

**Личный вклад автора заключается** в следующем: проведен анализ состояния вопроса по теме исследований; сформулированы цель и задачи; выполнено районирование градопромышленных территорий по уровню негативного воздействия; разработан новый критерий оценки влияния геомеханических процессов на техническое состояние наземных объектов; разработаны компьютерные модели системы «основание – здание»; выполнены обработка и оформление результатов исследований; разработаны методики проектирования; сформулированы научные и практические результаты работы.

**Практическое значение работы** заключается:

- в составлении картографических материалов, отражающих расположение зон с негативными воздействиями на состояние объектов жилой застройки города Шахты и прилегающих поселков;

- в разработке аналитического метода оценки влияния геомеханических процессов на состояние жилых зданий с целью дальнейшего прогнозирования их эксплуатационной пригодности в условиях совместного воздействия подработки и просадки.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: годичных сессиях Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «18-х Сергеевских чтениях. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи (г. Москва, ИГЭ РАН, 2016 г.); «19-х Сергеевских чтениях. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ис-

копаемых» (г. Москва, ИГЭ РАН, 2017 г.) и «21-х Сергеевских чтениях. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах» (г. Пермь, ПГНИУ, 2019 г.); 11-й, 12-й и 14-й Международных конференциях по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики (г. Тула, ТулГУ, 2015, 2016 и 2018 гг.); международных научно-практических конференциях «Строительство» и «Строительство и архитектура» (г. Ростов-на-Дону, РГСУ, 2011, 2013-15 гг., ДГТУ, 2016-18 гг.); 10-й, 11-й и 13-й международных научно-практических конференциях «Перспективы развития строительных технологий» (НГУ, г. Днепр, Украина, 2016, 2017 и 2019 гг.); научно-практической конференции «Перспективы развития горного дела и подземного строительства» (ННТУ (КПИ), г. Киев, Украина, 2016 г.); XXVII Российско-словацко-польском семинаре (R-S-P Seminar 2018) «Theoretical Foundation of Civil Engineering» (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ, 2018 г.); международной научно-практической конференции «Транспорт-2017» (г. Ростов-на-Дону, РГУПС, 2017 г.).

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 20 статей, в том числе 1 – в издании, входящем в Международную реферативную базу данных Scopus, 4 – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 11 статей – в изданиях РИНЦ; 4 – в сборниках материалов международных конференций, изданных за рубежом.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 213 страницах печатного текста, состоит из 5 глав, содержит 36 таблиц, 74 рисунка, список литературы из 174 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений на подрабатываемых территориях не перестают быть актуальными, особенно в период проявления негативных последствий реструктуризации угольной промышленности РФ. Наибольший интерес вызывают работы в этой области Абрамкина Н.И., Барсукова И.В., Воробьева А.Е., Гелязутдинова Р.Р., Должикова П.Н., Ельчанинова Е.А., Захарова Е.И., Мельника В.В., Посыльного Ю.В., Прокопова А.Ю., Сергеева С.В., Тетерина А.В. и др.

Процессам изменения характеристик оснований, сложенных лессовыми просадочными грунтами, в условиях замачивания посвящены труды Сергеева Е.М., Абелева Ю.М., Ананьева В.П., Гильмана Я.Д., Далматова Б.И., Крутова В.И., Логутина В.В., Приходченко О.Е., Прокоповой М.В., Сорочана Е.А., Черкасова С.М., Чмшкяна А.В. и др.

Проблемам техногенного подтопления и затопления градопромышленных территорий посвящены исследования Гавришина А.И., Гридневского А.В., Ельчанинова Е.А., Иофиса М.А., Калошиной С.В., Мохова А.В., Навитного А.М., Олянского Ю.И., Пономарева А.Б., Селиванова Б.В., Скибина Г.М. и др.

Вклад в прогнозирование геомеханических процессов, изучение экологических проблем и вопросов оценки геоэкологических рисков внесли Анцифе-

ров С.В., Булычев Н.С., Воронина И.Ю., Ельчанинов Е.А., Захаров Е.И., Иофис М.А., Качурин Н.М., Мохов А.В., Осипов В.И., Плешко М.С., Саммаль А.С., Сарычев В.И., Стась Г.В., Феоктистов В.М., Харькина М.А., Шеина С.Г. и др.

Проблема обеспечения нормальной эксплуатации зданий и сооружений в угледобывающих районах в период постмайнинга по-прежнему остается актуальной. Геомеханические процессы, происходящие вследствие совместного влияния трех факторов (просадка, подработка и подтопление), изучены недостаточно. В городе Шахты в аварийном состоянии находится не менее 200 многоквартирных домов. На основании этого и в соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи исследования:

- создание карты города Шахты с опасными зонами подработки, просадки и подтопления;
- разработка и обоснование аналитического метода оценки технического состояния зданий и сооружений, основанный на определении суммарных деформаций от подработки территорий и просадки грунтов при водонасыщении;
- усовершенствование методики расчета затрат на восстановление ущерба, причиненного зданию геомеханическими процессами;
- разработка рекомендации по проектированию мер защиты конструкций зданий от воздействия подработки и просадки.

На рисунке 1 представлена карта города Шахты, на которой штриховкой «кирпичи» отображены зоны с подработкой, диагональной штриховкой - области распространения просадочных грунтов и волнистой штриховкой - зоны подтопления. Также обозначены жилые дома, признанные аварийными.

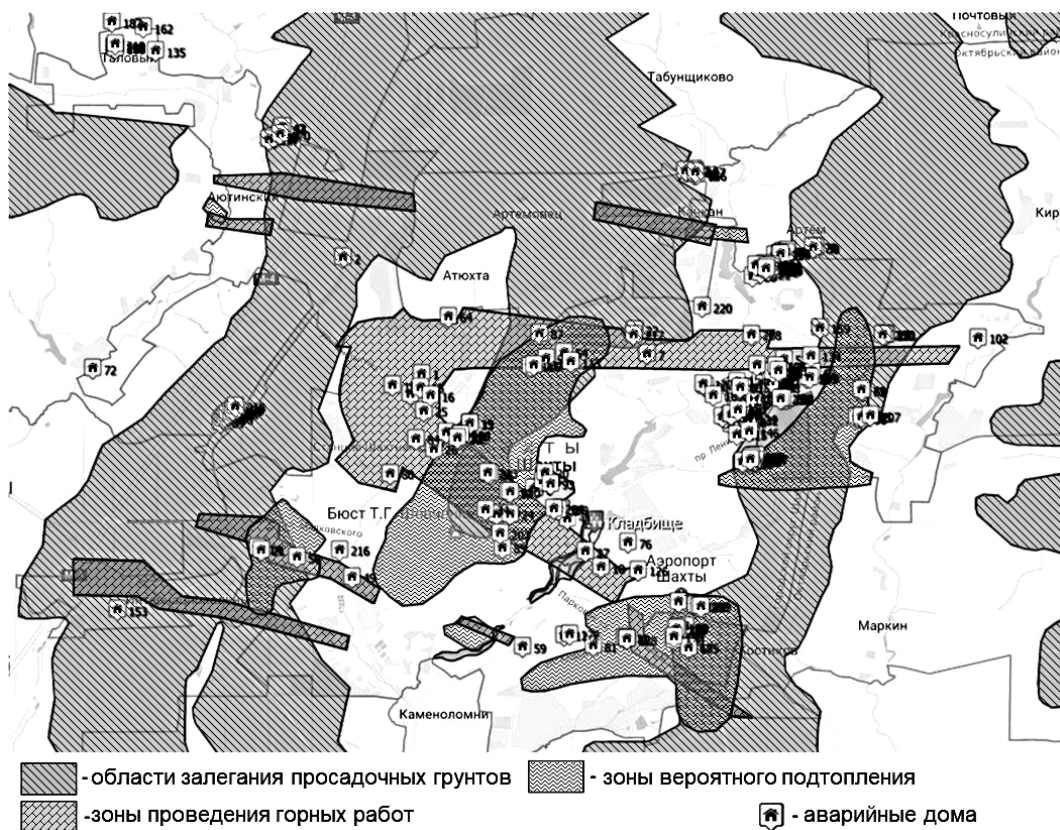


Рисунок 1 - План расположения аварийных домов на территории городского округа «Шахты»

Районирование градопромышленных территорий Восточного Донбасса основано на методе, заключающемся в определении картографическим методом распространения и пересечения областей подработки, залегания просадочных грунтов и подтопления. Таким образом выделено 8 типов зон по характеру воздействия на наземные объекты. На примере города Шахты и его окрестностей составлены карты и произведено районирование территорий с использованием программы SAS.Planet (см. рисунок 1).

Расположение областей слияния трех типов зон показало, что негативному влиянию геомеханических процессов подвержены как жилые, так и промышленные территории города Шахты, в границах которых расположены объекты социальной и инженерной инфраструктуры. Это подтверждает корректность предложенного подхода к районированию территорий.

Произведен статистический анализ данных о 960 многоквартирных жилых домах, признанных аварийными на территории шахтерских городов Восточного Донбасса. В большей части это постройки 50-60-х годов XX века. Так как нормативный срок эксплуатации таких зданий составляет 75 - 100 лет следует вывод об их преждевременном износе. Наиболее распространены типовые серии домов: 460-я, 447-я, 202-я, 114-86-я. Чаще всего это здания с двумя, тремя и пятью этажами, с количеством секций от двух до четырех.

Сравнивая профили оседания поверхности рельефа при подработке и просадке установлено, что в пределах криволинейных участков мульды сдвига и просадочной воронки формируются идентичные зоны вертикальных и горизонтальных перемещений. Разница состоит в масштабе, так как размеры мульды и просадочной воронки могут отличаться в разы.

Процессы сдвижений от подработки и просадки грунтов выражаются общим набором параметров: вертикальные и горизонтальные перемещения, наклоны, кривизна и относительные горизонтальные деформации, которые могут суммироваться и использоваться для расчета критерия оценки технического состояния.

Для оценки влияния на застройку геомеханических процессов вследствие подработки и просадки разработана методика, основанная на нормативных требованиях к проектированию зданий в рассматриваемых инженерно-геологических и техногенных условиях.

В качестве критерия прогнозирования геомеханических процессов для оценки технического состояния наземных объектов предлагается комплексный показатель деформаций  $\Delta l$ , зависящий от геометрических параметров здания, горизонтальных деформаций и кривизны, определяемых в точках поверхности при совместном воздействии подработки и просадки грунта вследствие подтопления:

$$\Delta l = l \sqrt{m_{\varepsilon}^2 (\sum \varepsilon_j^*)^2 + m_k^2 H^2 (\sum K_j^*)^2},$$

где  $l$  и  $H$  – соответственно длина здания (отсека), мм, и его высота от подошвы фундамента до верха карниза, м;

$m_{\varepsilon}$  и  $m_k$  – коэффициенты условий работы при учете воздействия на здание и сооружение относительных горизонтальных деформаций  $\varepsilon$  и кривизны  $K$ ;

$\Sigma \varepsilon_j^*$ ,  $\Sigma K_j^*$  – соответственно расчетные величины горизонтальной деформации (безразмерный) и кривизны,  $1/m$ , при одновременном воздействии подработки и просадки.

На рисунках 2 и 3 показаны соответственно графики вертикальных и горизонтальных перемещений точек поверхности при подработке и просадке, используемые для расчета принятого показателя деформаций  $\Delta l$ . Для расчета данных величин выбран участок земной поверхности, на котором сформирована мульда сдвижения длиной 360 м вследствие выработки одиночного пласта мощностью 1 м и углом падения 8 градусов при средней глубине разработки 200 м. В пределах данной мульды расположена воронка шириной 90 м, образованная вследствие водонасыщения массива просадочного грунта II типа мощностью 15 м на участке шириной 50 м. При этом оси мульды сдвижения и просадочной воронки совпадают и проходят через точку 0.

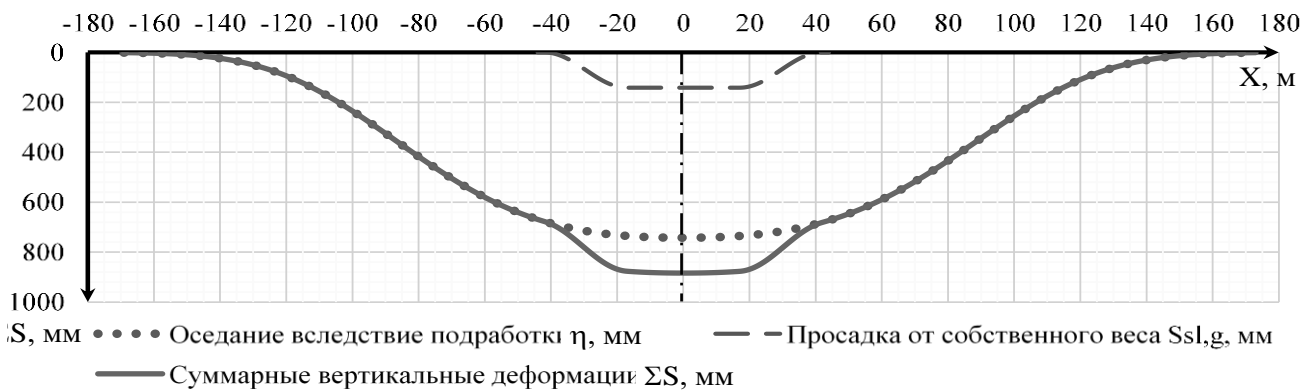


Рисунок 2 – Суммарные вертикальные перемещения при подработке и просадке

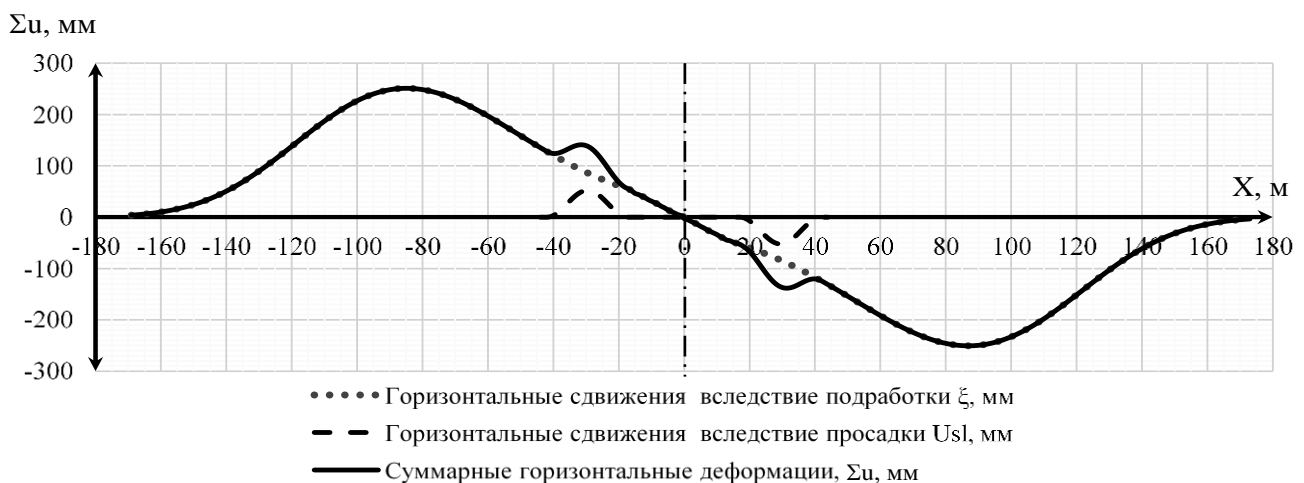


Рисунок 3 – Суммарные горизонтальные перемещения при подработке и просадке

По суммарным вертикальным и горизонтальным перемещениям определяются другие параметры деформации (наклоны, кривизна, относительные горизонтальные деформации) в зоне оседания поверхности.

Наклоны земной поверхности вычисляются по приведенной формуле как отношение разности суммарных вертикальных перемещений в точках поверхности к расстоянию между ними

$$\Sigma i_j = \frac{\Sigma s_{j+1} - \Sigma s_{j-1}}{l_1 + l_2},$$

где  $\Sigma s_{j+1}$  и  $\Sigma s_{j-1}$  – суммарные величины вертикальных сдвижений в точках кривой оседания, расположенных соответственно справа и слева от рассматриваемой точки  $j$ , рассчитываются по формулам

$$\Sigma s_{j+1} = \eta(x_{j+1}) + s_{sl,g}(x_{j+1});$$

$$\Sigma s_{j-1} = \eta(x_{j-1}) + s_{sl,g}(x_{j-1}).$$

Кривизна определяется как отношение разности наклонов в двух точках к расстоянию между ними

$$\Sigma K_j^* = \frac{\Sigma i_{j+1} - \Sigma i_{j-1}}{l_1 + l_2},$$

где  $\Sigma i_{j+1}$  и  $\Sigma i_{j-1}$  – суммарные величины наклонов в точках кривой оседания, расположенных соответственно справа и слева от рассматриваемой точки  $j$ .

Относительные горизонтальные деформации определены исходя из абсолютных значений горизонтальных перемещений, отнесенных к расстоянию между рассматриваемыми точками

$$\Sigma \varepsilon_j^* = \frac{\Sigma u_{j+1} - \Sigma u_{j-1}}{l_1 + l_2},$$

где  $\Sigma u_{j+1}$  и  $\Sigma u_{j-1}$  – суммарные величины горизонтальных сдвижений в точках кривой оседания, расположенных соответственно справа и слева от рассматриваемой точки  $j$ , рассчитываются по формулам

$$\Sigma u_{j+1} = \xi(x_{j+1}) + u_{sl,g}(x_{j+1});$$

$$\Sigma u_{j-1} = \xi(x_{j-1}) + u_{sl,g}(x_{j-1}).$$

В рамках предложенной методики рассмотрен пример оценки технического состояния пятиэтажного кирпичного жилого дома типовой серии 1-447, наиболее широко представленной в застройке шахтерских городов Донбасса.

Используя геометрические параметры здания, найдены горизонтальные деформации и кривизна, рассчитан показатель  $\Delta l$  в точках сечения оседаемой поверхности. Также определены допустимый и предельный показатели деформаций в зависимости от конструктивных особенностей рассматриваемого объекта, грунтов основания, степени износа, конфигурации и имеющихся мер защиты.

На рисунке 4 в виде сплошной кривой показано распределение значений расчетного показателя  $\Delta l$  в пределах рассматриваемого участка земной поверхности. Штрихпунктирная линия соответствует допустимому, а штриховая линия – предельному показателю деформации. При этом предельный показатель

деформации  $[\Delta l_{\text{п}}]$  используется для оценки воздействий по первой группе предельных состояний, допустимый показатель деформации  $[\Delta l_{\text{д}}]$  – по второй.

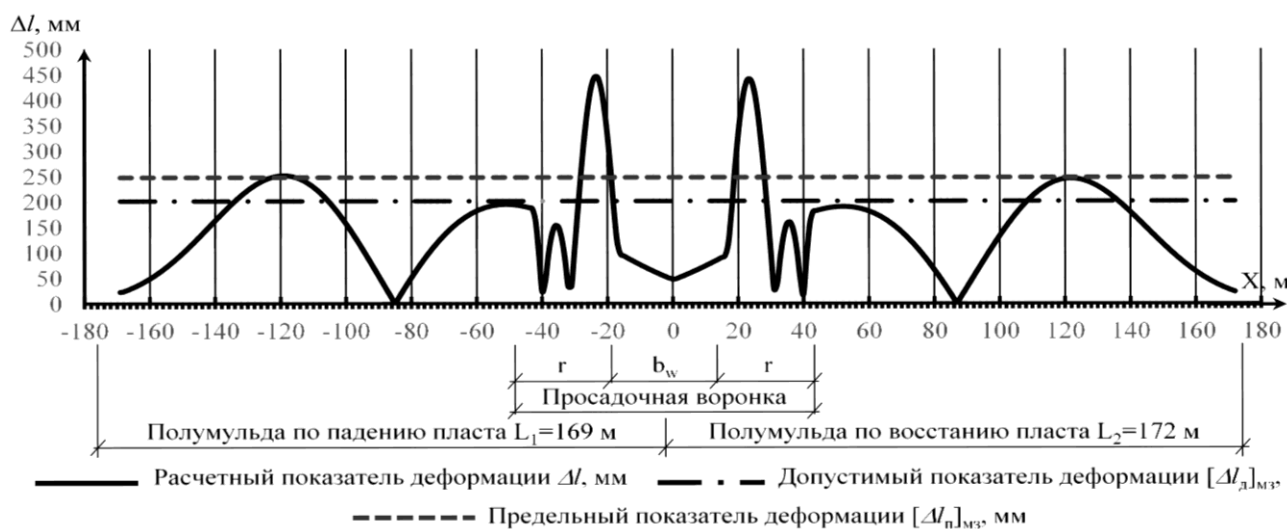


Рисунок 4 – Расчетный показатель деформации  $\Delta l$ , мм

Техническое состояние объектов, подверженных влиянию геомеханических процессов вследствие подработки, просадки и подтопления, оценивается максимальной величиной комплексного показателя  $\Delta l$  в пределах контура объекта в сравнении с допустимым  $[\Delta l_{\text{д}}]$  и предельным  $[\Delta l_{\text{п}}]$  показателями деформаций. Возможны следующие варианты оценки технического состояния:

1) Если  $\Delta l < [\Delta l_{\text{д}}]$ , то эксплуатация здания может быть продолжена без особых ограничений и перерывов для проведения капитального ремонта и реконструкции. Могут потребоваться мероприятия по косметическому ремонту.

2) Если  $[\Delta l_{\text{д}}] \leq \Delta l < [\Delta l_{\text{п}}]$ , то дальнейшая эксплуатация затруднена или временно прекращена, требуются мероприятия по устранению последствий неравномерных деформаций в подземных и надземных конструкциях, усилению конструкций, назначаются мероприятия по геотехническому мониторингу.

3) Если  $\Delta l \geq [\Delta l_{\text{п}}]$ , то эксплуатация должна быть прекращена, здание может быть признано аварийным после обследования и анализа несущей способности.

На рисунке 5 приведен один из шести вариантов расположения здания, при котором контур находится одновременно в зоне влияния мульды сдвижения и просадочной воронки

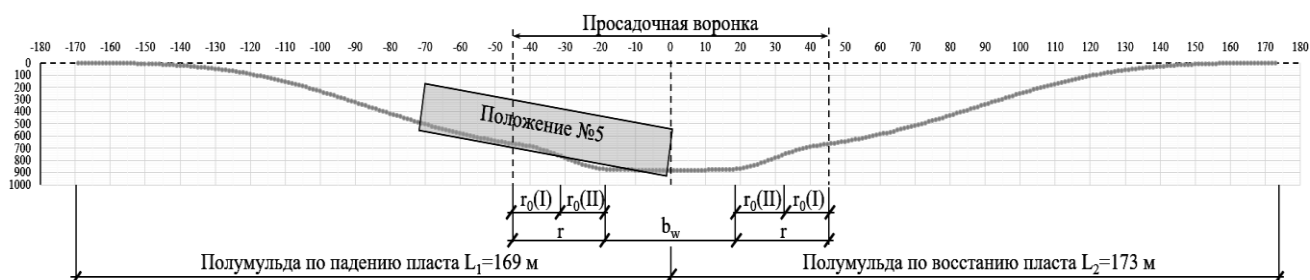


Рисунок 5 – Наиболее неблагоприятный вариант расположения здания в пределах зон с неравномерными деформациями при подработке и просадке

Используя альбом чертежей типовой серии 1-447, для каждого из шести вариантов положения созданы модели здания для оценки НДС несущих конструкций с применением метода конечных элементов в программе ЛИРА-САПР.

На рисунке 6 наиболее темными участками показаны зоны касательных напряжений вдоль горизонтальной и вертикальной осей пластин наружной несущей кирпичной стены. Характер распределения напряжений отражает реальное поведение конструкций при неравномерных деформациях в основании зданий и сооружений, вызванных геомеханическими процессами в массиве грунта.

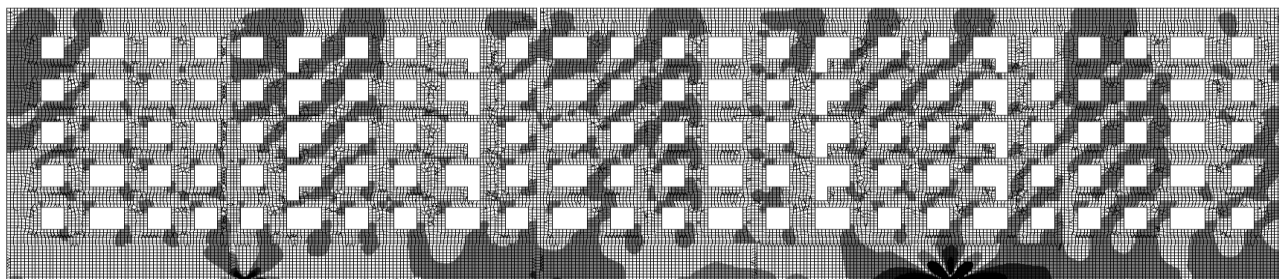


Рисунок 6 – Распределение напряжений в кирпичной кладке несущей стены при самом неблагоприятном расположении здания в пределах зон подработки и просадки

На основании показателя  $\Delta l$  рассчитаны затраты на восстановление поврежденного здания вследствие подработки и просадки.

В таблице 1 приведены результаты расчета размера ущерба и показатели деформаций для шести вариантов расположения здания. Сделан вывод, что при третьем варианте положения отмечены наименьшие повреждения и в данном случае здание может эксплуатироваться без серьезных ограничений. Данный вывод подтверждается результатами компьютерного моделирования НДС при помощи метода конечных элементов.

Таблица 1 – Сравнение размеров затрат на восстановление здания вследствие подработки и просадки

Вариант расположения контура здания	Интервал в пределах деформируемой зоны	Размер затрат на восстановление здания З, млн. руб.			Показатель деформации $\Delta l$ , мм			Пригодность здания к дальнейшей эксплуатации
		Средний	Минимальный	Максимальный	Средний	Минимальный	Максимальный	
1	[-160;-88]	10,277	5,459	13,509	164	33	252	Нет
2	[-130;-58]	9,928	4,271	13,509	155	1	252	Нет
3	[-101;-29]	8,731	4,271	11,402	122	1	195	Да
4	[-91;-19]	9,989	4,271	20,775	156	1	445	Нет
5	[-72;0]	10,247	5,144	20,775	163	24	445	Нет
6	[-36;36]	10,262	5,274	20,775	163	28	445	Нет

На основании результатов исследований предложен комплекс мероприятий по защите зданий и сооружений для снижения одновременного воздействия подработки и просадки грунтов.

На рисунке 7 приведены основные виды мероприятий, обеспечивающие прочность и нормальную эксплуатацию зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах на подработанных территориях, подверженных подтоплению.



Рисунок 7 – Мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах в условиях подработки

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных теоретических исследований решена задача разработки метода прогнозирования геомеханических процессов в массиве просадочных грунтов в условиях подработки для оценки технического состояния зданий и сооружений по уровням допустимых и предельных деформаций, что имеет значение для развития методов расчета геомеханических процессов при эксплуатации и строительстве наземных объектов.

Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Картографическим методом установлено, что наибольшее количество жилых зданий, признанных аварийными в городе Шахты, расположено в пределах или вблизи (не более 200 м) от зон, где отмечено одновременное прояв-

ление сдвижений от подработки, распространение просадочных грунтов и подтопление. По условию наложения областей распространения негативных процессов выделены 8 типов зон по уровням воздействия на застройку. Для города Шахты и прилегающих поселков разработаны карты опасных зон по факторам подработки, просадки и подтопления.

2. Для оценки влияния на сооружения геомеханических процессов, возникающих вследствие подработки и просадки, введен показатель деформации здания  $\Delta l$ , зависящий от геометрических параметров объекта, горизонтальных деформаций и кривизны поверхности.

3. Разработан аналитический метод оценки технического состояния зданий и сооружений, основанный на определении суммарных деформаций от подработки территорий и просадки грунтов при водонасыщении.

4. Разработаны конечно-элементные модели, на которых изучен характер изменения НДС несущих конструкций здания в зависимости от его расположения относительно границ мульды сдвижения и просадочной воронки. Результатами моделирования обоснована корректность применения комплексного показателя деформаций  $\Delta l$  для оценки технического состояния зданий и сооружений, подверженных воздействию подработки и просадки.

5. Усовершенствована методика расчета затрат на восстановление ущерба, причиненного зданию вследствие подработки территорий, с учетом просадки грунтов основания.

6. Разработаны рекомендации по проектированию мер защиты конструкций зданий от воздействия подработки и просадки.

7. Результаты диссертации использованы ООО «Проектно-кадастровое бюро» (г. Шахты) при планировании территориального развития и разработке проектов строительства и реконструкции зданий и сооружений в условиях подработки и на просадочных грунтах.

Основные положения научно-квалификационной работы опубликованы в следующих работах:

***в издании, индексируемом в SCOPUS:***

1. Albert Prokopov, Vyacheslav Zhur and Andrey Medvedev. Application of the cartographic method of research for the detection of the dangerous zones of mining industrial territories // MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018). Volume 196, 2018.

***в изданиях, рекомендованных ВАК:***

2. Жур В.Н. Определение несущей способности в грунтовых условиях II типа по просадочности свай по фондовым материалам полевых испытаний свай статической нагрузкой // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2144> (дата обращения: 20.07.2018).

3. Жур В.Н. Исследование влияния параметров инженерно-геологических элементов грунтовых оснований на величину осадки фундаментов // Научное обозрение. 2014. №9. Ч. 3. С. 859 – 863.

4. Жур В.Н. Исследование влияния характеристик грунтовых оснований на частные значения предельного сопротивления забивных свай по результатам статического зондирования // Научное обозрение. 2014. №11. Ч. 3. С. 750 – 753.

5. Прокопов А.Ю., Жур В.Н. Анализ аварийного многоквартирного жилого фонда шахтерских городов Восточного Донбасса // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4412> (дата обращения: 30.07.2018).

*в сборниках трудов международных конференций:*

6. Приходченко О.Е., Жур В.Н., Комнатная Е.Н. К определению деформаций оснований, обладающих просадочными свойствами // Строительство-2011: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д: РГСУ, 2011. С. 222-223.

7. Приходченко О.Е., Жур В.Н. Напряженно-деформированное состояние просадочных грунтовых оснований при подъеме уровня подземных вод // Строительство-2012: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д: РГСУ, 2012. С.150-152.

8. Жур В.Н. Влияние параметров инженерно-геологических элементов грунтовых оснований на величину осадки фундаментов // Строительство-2014: Современные проблемы промышленного и гражданского строительства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д: РГСУ, 2014. С. 122-123.

9. Жур В.Н. Расчет несущей способности висячих свай по данным фоновых материалов полевых испытаний // Архитектура и строительство-2015: материалы междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д: РГСУ, 2015. С. 353-355.

10. Прокопов А.Ю., Рубцова Я.С., Жур В.Н. Проблемы обеспечения безопасности городской застройки на подработанных территориях Восточного Донбасса // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / Отв. ред. В.И. Осипов. М.: РУДН, 2016. Вып. 18. С. 346 – 351.

11. Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Жур В.Н. Усиление просадочных грунтов под существующей застройкой г. Ростова-на-Дону // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. № 4 (37). С. 79 – 87.

12. Прокопов А.Ю., Жур В.Н. О методике районирования угледобывающих территорий по категориям опасности развития негативных техногенных и геологических процессов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 12-й Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. Т. 2. С 208 – 215.

13. Прокопов А.Ю., Рубцова Я.С., Жур В.Н. О мерах защиты зданий и сооружений на многократно подработанных территориях Восточного Донбасса // Перспективи розвитку будівельних технологій: М-лы 10-ї Міжнародн. науково-практичн. конференції молодих учених, аспірантів та студентів. Дніпропетровск: НГУ, 2016. С. 61 – 64.

14. Прокопов А.Ю., Жур В.Н. О последствиях ликвидации шахт мето-

дом мокрой консервации // Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва. Зб. наук. праць. Вип. 7. Київ: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2016. С. 39 – 43.

15. Прокопов А.Ю., Дубовой А.Н., Жур В.Н. Изучение одновременного влияния просадочности грунтов и подработки на состояние зданий и сооружений градопромышленных территорий // Перспективи розвитку будівельних технологій: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів / редкол.: О.М. Шашенко. Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. С. 68 – 72.

16. Прокопов А.Ю., Ткачева К.Э., Жур В.Н. О критериях оценки влияния опасных геологических процессов на застроенные территории Восточного Донбасса // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: РУДН, 2017. Вып. 19. С. 107 – 111.

17. Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Жур В.Н. Исследование свойств лессовых просадочных грунтов Восточного Донбасса // Транспорт: наука, образование, производство: сб. науч. тр. Том 2. Технические науки. Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2017. С. 354 – 358.

18. Жур В.Н. Оценка технического состояния зданий и сооружений в условиях подработки и распространения просадочных грунтов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 14-й Международной конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. С. 35 – 40.

19. Жур В.Н. Оценка технического состояния зданий и сооружений в геологических и техногенных условиях Восточного Донбасса // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сборник научных трудов: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / под ред. В. И. Осипова и др. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. 2019. Вып. 21. С. 412 – 416.

20. Жур В.Н., Бигма И.Э. Компьютерное моделирование НДС здания при неравномерных деформациях поверхности массива просадочных грунтов в условиях подработки // Перспективи розвитку будівельних технологій: матеріали 13-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. / редкол. С.М. Гапеев и др. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. С 171 – 175.

В печать 10.09.2019.

Формат 60×84/16. Объем 1,0 усл. п.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 792. Цена свободная.

---

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

34400, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1