

Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Дрипан Павел Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ БЕЗКЛЕЕВОГО СПОСОБА УСТАНОВКИ
АНКЕРОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ДИНАМИЧЕСКОЙ
НАГРУЗКОЙ**

Специальность 25.00.22 –Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2021

Работа выполнена в ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики (г. Донецк).

Научный руководитель: **Новиков Александр Олегович**
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МОН ДНР
(г. Донецк)

Официальные оппоненты:

Ведущая организация

Защита состоится «__» _____ 20__ года в __ часов на заседании диссертационного совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, 1-й учебный корпус, каб. 1.203. Тел./факс: +3(8062)304-30-55, E-mail: uchensovet@donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, 2-й учебный корпус. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>.

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, Д 01.008.01
доктор технических наук, доцент

И.А. Бершадский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Угольная промышленность – одна из ведущих отраслей народного хозяйства, важнейшая задача, которой в условиях рыночной экономики, состоит в повышении производительности труда и снижении себестоимости продукции. Повысить эффективность работы шахт можно путем совершенствования способов крепления и поддержания выработок за счет применения новых инновационных технических решений. Перспективным направлением, позволяющим улучшить состояние выработок, является использование несущей способности приконтурного массива с помощью анкерной крепи, которая позволяет снизить трудоемкость работ по креплению, улучшить условия труда и повысить технико-экономические показатели добычи угля.

Наибольшее распространение в условиях шахт Донецкого угольного бассейна получили сталеполимерные анкеры, технология установки которых и параметры крепи определяются в соответствии с действующими в отрасли нормативными документами. Однако до 40 % стоимости установки таких анкеров составляют затраты на ампулы с полимерными смолами, с помощью которых анкеры закрепляют в шпурах.

В настоящее время в мировой практике строительства и поддержания горных выработок применяется большое количество безраспорных конструкций анкеров, которые не получили широкого применения на шахтах Донбасса. Основными причинами этого являются необходимость изготовления анкеров из высокопрочных упругих сталей, а так же потребность в дорогом дополнительном оборудовании для их установки и высокие требования к культуре производства работ.

В ДОННТУ разработан способ установки анкера большего диаметра, чем диаметр направляющего шпура, с помощью динамической нагрузки, использование которого позволит существенно снизить затраты, в том числе при извлечении после эксплуатации, обеспечить устойчивость выработок и безопасность ведения горных работ.

В связи с этим, исследования, направленные на установление закономерностей взаимодействия горных пород и анкера при его установке динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра для обоснования области применения и параметров способа установки анкеров, обеспечивающих повышение безопасности ведения горных работ и устойчивости выработок, снижение материальных затрат, является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы. Большой вклад в развитие представлений о взаимодействии анкерной крепи с вмещающим массивом, в разработку конструкций и технологий возведения крепи внесли ученые и специалисты отечественных и зарубежных научно-исследовательских центров в Австралии, Великобритании, Германии, США, Канаде и ЮАР. Это также работы ученых из стран СНГ – Бабиюка Г.В., Баклашова И.В., Борзых А.Ф., Борисова А.А., Булата А.Ф., Булычева Н.С., Виноградова В.В., Касьяна Н.Н., Кизиярова О.Л., Ковалевской И.А., Махно Е.Я., Новикова А.О., Симановича Г.А., Старикова Г.П.,

Шашенко А.Н., Широкова А.П., Черняка И.Л., Мельникова Н.И., и ученых зарубежных стран Айзаксона Э., М. Junker, Каммера В., Коста А., Лангоша У., Панека Л.А., Скотта Д., Stilborg В., Фармера Я., Югона А., Якоби О. и многих других.

В них рассмотрены различные конструкции анкеров (в том числе, некоторые безклеевые), технологии их установки и методики расчета параметров.

Анализ литературных источников показал, что исследования, направленные на установление закономерностей взаимодействия горных пород и анкера, устанавливаемого динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра не проводились. Это не позволяет установить область применения и параметры такого способа установки, сдерживает развитие новых инновационных технологий крепления выработок.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Одним из основных научных направлений кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУВПО «ДОННТУ» является разработка и совершенствование способов охраны и поддержания горных выработок, обеспечивающих их устойчивое состояние. Диссертация является частью этих исследований и выполнена в рамках госбюджетных научно-исследовательских тем: Д-9-05 «Геомеханическое обоснование средств обеспечения устойчивости горных выработок на разных этапах их эксплуатации» (№ гос. регистрации 0105U002290); Н-10-18 «Усовершенствование способов поддержания выработок глубоких шахт на основе инновационных технологических решений» (приказ № 6-15 от 31.01.2018 г.), а также Н-2019-6 «Обеспечение устойчивости подготовительных выработок на шахтах Донбасса с помощью анкерных породо-армирующих систем» (приказы №8-15 от 31.01.2019 г.; №3-15 от 25.02.2021 г.), в которых автор являлся исполнителем.

Цель и задачи исследований

Цель работы – установление закономерностей взаимодействия горных пород и анкера при его установке динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра для обоснования области применения и параметров способа установки анкеров, обеспечивающих устойчивость горных выработок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ существующих способов и конструктивных решений закрепления анкерами породного массива горных выработок угольных шахт;
2. Разработать математические модели, позволяющие оценить устойчивость анкера на начальном этапе его установки, а также закономерности взаимодействия горных пород и анкера при реализации предложенного способа;
3. Выполнить лабораторные и шахтные исследования по определению основных параметров предлагаемого способа;
4. Разработать технологию реализации способа и методику определения его параметров.

Объект исследований – способ установки анкера в горные породы.

Предмет исследований – закономерности взаимодействия горных пород и анкера при его установке динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра.

Методология и методы исследований. При выполнении диссертационной работы использован комплексный подход, содержащий анализ и обобщение ранее полученных результатов научных исследований в данном направлении; математическое и физическое моделирование напряженно-деформированного состояния при определении устойчивости, прочности анкера и горных пород с учетом волновых процессов, сопротивления в продольном направлении и сил трения по боковой поверхности породного массива с использованием классических основ теории удара – двухмерного решения задачи теории упругости; исследования в лабораторных и шахтных условиях с последующей статистической обработкой данных.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. **Доказано**, что устойчивость сплошного металлического анкера диаметром 22-30 мм и длиной не более 2,5 м, изготовленного из стали марки Ст 4 и выше, устанавливаемого в направляющий шпур меньшего диаметра (коэффициент натяга 1,1-1,3) обеспечивается под действием нагрузки до 100 кН с коэффициентом динамичности, равным двум;

2. Теоретически **установлена** и экспериментально **подтверждена** возможность установки сплошного металлического анкера динамической нагрузкой с энергией удара 45 Дж в направляющий шпур меньшего диаметра (коэффициент натяга 1,1-1,2), пробуренный на глубину до 1,5 м в породы с прочностью на одноосное сжатие от 20 до 50 МПа. При этом обеспечивается устойчивость горных пород и анкера, его несущая способность составляет от 50 до 150 кН, а время установки – не более 200 с.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что **впервые** установлены:

1. Закономерности и зависимости, описывающие изменение критической нагрузки и эквивалентных напряжений на начальном этапе установки анкера с диаметром большим, чем у направляющего шпура в породный массив под действием статической или динамической нагрузки, учитывающие механические свойства пород и материала анкера, его геометрические размеры, гибкость и глубину закрепления, что позволило обосновать параметры анкера, обеспечивающие его устойчивость.

2. Закономерности, описывающие изменение напряженно-деформированного состояния анкера с большим диаметром, чем у направляющего шпура, при его закреплении в породном массиве под действием статической или ударной нагрузки, учитывающие геометрические размеры анкера и механические свойства материала, контактное давление, скорость распространения акустических волн, сопротивления перемещению анкера в осевом направлении за счет трения по боковой поверхности, массу анкера и ударного устройства для установки, его скорость движения, коэффициент динамичности статической нагрузки. Это позволило определить напряжения и деформации, возникающие в анкере и породах, время установки анкера в массив, требуемую для этого статическую и динамическую нагрузку, параметры ударного устройства и статическую нагрузку, необходимую для преодоления сил трения при извлечении анкера.

3. Зависимости, позволяющие определить изменение статических и динамических нагрузок на анкер при его закреплении в породе, времени его установки, а также статических нагрузок, необходимых для преодоления сил трения при извлечении анкеров, от соотношений: диаметров анкера и направляющего шпура, механических характеристик горной породы и материала анкера, глубины установки анкера и его диаметра. Это позволило подтвердить адекватность разработанных математических моделей, обосновать область применения способа и его параметры.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что разработаны и получены:

- математическая модель напряженного состояния анкеров в зависимости от геометрических, механических параметров и материала, которая позволила определить их устойчивость при закреплении породного массива;

- математическая и физическая модели напряженно-деформированного состояния анкера с большим диаметром, чем шпура, а также горных пород с учетом: сопротивлений в продольном направлении, сил трения по боковой поверхности, волновых процессов, статической и динамической нагрузок, которые позволили выбрать параметры ударного устройства для обеспечения надежного закрепления породного массива с точки зрения устойчивости;

- зависимости для определения нагрузок при установке и извлечении анкеров, времени установки от соотношения параметров: диаметра анкера и шпура, модуля упругости горной породы и материала анкера, длины анкера и его диаметра, а также максимальные суммарные напряжения, возникающие в анкере и горных породах;

- методика определения параметров установки анкеров с помощью динамической нагрузки в направляющий шпур с диаметром меньшим, чем у анкера;

- результаты диссертационной работы будут использованы при чтении следующих дисциплин: «Прикладная механика», «Крепление горных выработок», «Способы охраны горных выработок», «Ремонт и погашение горных выработок», а также при выполнении студентами выпускных квалификационных работ.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 205 руб. 28 коп. на один анкер длиной 1,5 м.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- корректным использованием основных положений теории устойчивости и удара двух сопряженных тел с учетом волновых процессов при определении деформаций и напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «порода - анкер» при использовании статической и ударной нагрузок;

- использованием метода плоского НДС, теорий упругости и сопряженных тел при определении напряженного состояния горных пород слоистого массива;

- использованием метода многофакторного эксперимента при физическом моделировании в лабораторных условиях;

- результатами исследований в натуральных условиях;

– удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и данных экспериментальных исследований, максимальная погрешность которых не превышает 30 %.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследований, научных положений и результатов исследований, выводов, при разработке математической и физической моделей, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обобщении и систематизации результатов, разработке технологии по повышению устойчивости выработок угольных шахт при закреплении анкерами породного массива под действием нагрузки.

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы доложены на: Международной научно-практической конференции «Школа геомеханики» (г. Гливице, Польша, 1999 г.); Практической конференции «Проблемы горной технологии» (г. Красноармейск, Украина, 2012г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве» (г. Донецк, 2016); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы развития и совершенствования технологии разработки месторождений полезных ископаемых» в ГОУ ВО ЛНР «ДонГТУ» (г. Алчевск, ЛНР, 1999, 2019, 2021 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (г. Донецк, 2019, 2021 г.); Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики (г. Тула, Россия, 2020 г.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 22 научных изданиях, в том числе: 3 – в рецензируемых специализированных научных изданиях ВАК ДНР; 6 – в рецензируемых научных изданиях; 4 – публикации в других научных изданиях; 2 – патента; 7 – по материалам научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 194 наименований на 18 страницах, 9 приложений на 23 страницах. Работа изложена на 199 страницах машинописного текста, в том числе 146 страниц основной части, содержит 44 рисунка и 24 таблицы.

Автор выражает искреннюю благодарность первому научному руководителю доктору технических наук, профессору Касьяну Н.Н. и кандидату технических наук, доценту Шестопалову И.Н. за ценные советы в процессе выполнения диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи исследований, основные научные положения, выносимые на защиту и новизна полученных результатов, приведены теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, апробация и публикации результатов диссертации.

В первом разделе «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» приведен анализ состояния горных выработок в угольной промышленности, существующих способов и конструктивных решений по анкерному креплению вырабо-

ток, а также краткий анализ исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) при анкерном закреплении породных массивов.

Проблема обеспечения устойчивости горных выработок приобретает в настоящее время особое значение. С увеличением глубины разработки возрастает горное давление, что в свою очередь приводит к ухудшению состояния крепи горных выработок.

Анкерная крепь повышает безопасность ведения горных работ, лучше противостоит взрывным работам, может устанавливаться непосредственно в забое как временная, имеет высокую степень механизации, меньшую материалоемкость, трудоемкость и аэродинамическое сопротивление (по сравнению с рамной крепью), что позволяет увеличить темпы проведения выработок.

В настоящее время на угольных шахтах развитых угледобывающих стран анкерная крепь является наиболее распространенной конструкцией в горных выработках, объем применения, которой уже сейчас составляет до 87 %. На шахтах Донбасса доля применения анкерной крепи не превышает 2 %.

Несмотря на многообразие способов установки, и конструкций анкеров, наибольшее распространение на шахтах Донбасса получили сталеполимерные анкера, закрепляемые в породах заполнителями из быстротвердеющих материалов на основе цемента или синтетических смол. Вместе с тем стоимость ампул для закрепления составляет до 55 % от стоимости материалов для установки крепи.

В «ДОННТУ» запатентован способ установки стального анкера динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра. Его использование позволит снизить затраты, обеспечить устойчивость выработок и повысить безопасность ведения горных работ.

В научно-технической литературе не обнаружено исследований, посвященных установлению закономерностей взаимодействия горных пород и анкера, устанавливаемого динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра.

Наиболее близкой к решению рассматриваемой задачи является методика расчета параметров технологии забивания свай в грунт. Однако, при ее решении не учтена контактная нагрузка, не получены зависимости для определения напряжений, возникающих в месте соприкосновения сваи и грунта, не учтено влияние волновых процессов на изменение НДС системы. Это, в свою очередь, не дает возможности определить динамические усилия, необходимые для установки анкера в породу, выбрать оборудование, оценить устойчивость анкера и системы «анкер – породный массив».

Выполненный анализ позволил сформулировать цель и задачи исследований, приведенные в разделе «Общая характеристика работы».

Второй раздел «Теоретические исследования изменения напряженно-деформированного состояния системы «анкер – породный массив» и определения её параметров» посвящен оценке НДС элементов системы «породный массив – анкер».

Работа выполнена в следующей последовательности. Первоначально разрабатывалась математическая модель устойчивости анкера с различными геометрическими размерами на начальном этапе его установки. Затем – модель,

описывающая изменение НДС в системе «анкер – породный массив» при установке анкера, позволяющая определить необходимые при этом нагрузки, напряжения и деформации в анкере и породах с учетом сопротивлений движению анкера в продольном направлении, трения по его боковой поверхности и волновых процессов.

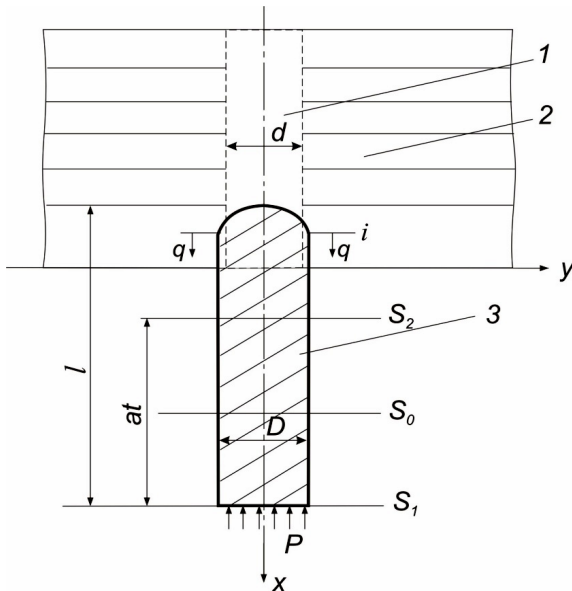
На первом этапе по теории Эйлера рассчитывали критическую силу и эквивалентное напряжение в анкере:

$$\sigma_3 = f_1(P, E, D, l, \mu) \leq \sigma_{\text{пц}},$$

$$\sigma_{\text{max}} = f_2(P, v_0, a, E_{\text{п}}, E, v, v_{\text{п}}, D, d, l, l_0, m, m_1, \gamma, f, H, t) \leq \sigma_{\text{пц}}, \quad (1)$$

$$\sigma_3 > \sigma_{\text{max}},$$

где $\sigma_3, \sigma_{\text{пц}}$ – эквивалентные напряжения и предел прочности материала анкера на изгиб, МПа; P – внешняя нагрузка, H ; v_0, a – скорости анкера в момент удара, звука в материале анкера, соответственно, м/с; $E, E_{\text{п}}$ – модули упругости материала анкера и породного массива соответственно; $v, v_{\text{п}}$ – коэффициенты Пуассона материала анкера и породного массива соответственно; D, l, d – диаметр, длина анкера, диаметр шпура соответственно, м; μ – коэффициент длины, зависящий от способа крепления концов анкера; l_0 – длина окружности анкера, м; m, m_1 – массы анкера и ударного устройства соответственно, кг; γ – удельный вес материала анкера, Н/м³; f – коэффициент трения анкера по породе; H – расстояние между ударным устройством и анкером, м; t – время, с.



1 – направляющий шпур; 2 – массив пород; 3 – анкер; i, S_0, S_1, S_2 – сечения анкера; q – распределенная по боковой поверхности шпура сила сопротивления за счёт трения

Рисунок 1 – Расчётная схема динамической установки анкера в горный массив с учётом сил трения по боковой его поверхности

Для решения второй задачи использована теория упругого удара, расчетная схема представлена на рисунке 1.

Уравнение движения анкера по направляющему шпуру описывается выражением:

$$k\ell \left(\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \right)_{x=\ell} = -a \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right)_{x=\ell}. \quad (2)$$

где $k = \frac{m}{m_1}$.

Время движения (установки) анкера определяется из выражения

$$T = -\frac{k\ell}{a} \cdot \ln \left(\frac{pa}{v_0} \right). \quad (3)$$

Путь L , который пройдет нижний конец анкера (глубина установки) при $at = T$

$$L = 2k\ell \cdot \left[\frac{v_0}{a} - \frac{P}{E \cdot S} \cdot \ln \left(\frac{v_0}{a} \cdot \frac{S \cdot E}{P} + 1 \right) \right]. \quad (4)$$

Статическая нагрузка $P_{ст}$ определяется по зависимости

$$P_{ст} \geq N_{ст} = q \cdot f \cdot \pi \cdot D \cdot l, \quad (5)$$

где $N_{ст}$ – сила трения, кН.

Максимальные радиальные σ_r , тангенциальные σ_t и эквивалентные σ_3 напряжения, возникающие в породах, определяются из выражений:

$$\sigma_r = -q, \quad \sigma_t = q \cdot \frac{1 + (k_0^2)^{-1}}{1 - (k_0^2)^{-1}}; \quad \sigma_3 = 2q. \quad (6)$$

Тогда, динамическое нагрузка и коэффициент динамичности рассчитываются по формулам:

$$P_d = \sigma_d F = P_{ст} \left(1 + \left(1 + \frac{2H}{\delta_{ст}} \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (7)$$

$$k_d = 1 + \left(\frac{2H}{\delta_{ст}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{или} \quad k_d = 1 + \left(1 + \frac{v_0^2}{g\delta_{ст}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

где δ – коэффициент натяга.

Для разработанных математических моделей выполнены расчеты при различных значениях следующих влияющих факторов: отношение диаметров анкера и шпура d_a/d_u ; отношение модулей упругости пород и материала анкера E_n/E_a и отношение длины анкера к его диаметру l_a/d_a . Пределы изменения указанных безразмерных параметров: $1,1 < (d_a/d_u) < 1,3$; $0,054 < (E_n/E_a) < 0,178$; $15 < (l_a/d_a) < 120$.

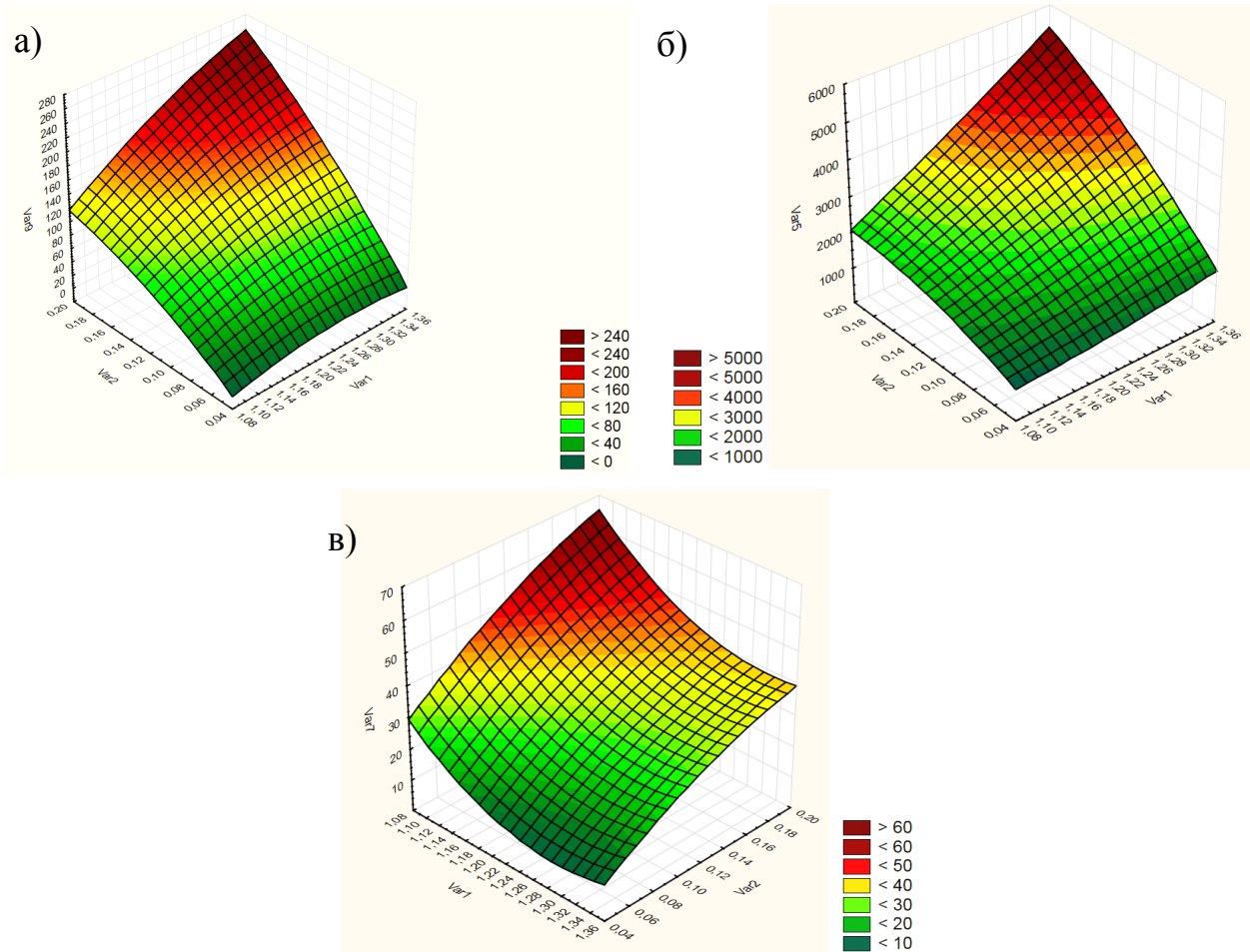
После обработки результатов с помощью пакета прикладных программ «Statistika» получены поверхности (рисунок 2), описывающие изменение времени установки анкера, динамической нагрузки и максимальных динамических напряжений, возникающих в анкере и породах, от выше указанных параметров.

В третьем разделе «Лабораторные исследования по определению нагрузок при установке и извлечении анкеров в ходе реализации предложенного способа» подтверждена техническая возможность реализации предлагаемого способа, экспериментально определены его параметры, обеспечивающие устойчивость элементов системы «анкер – породный массив».

Для этого использовался метод физического моделирования, предполагающий соблюдение геометрического и механического подобий модели и натуре.

В связи с тем, что при выполнении эксперимента имело место перекрестное влияние исследуемых факторов, было принято решение о проведении полного факторного эксперимента.

Исследования проводились в три этапа. На первом этапе исследовалось закрепление анкера в моделях из реальных пород статической нагрузкой, создаваемой гидравлическим прессом, на заданную глубину.



$Var1(k_0)$ – отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$; $Var2(E_n/E_a)$ – отношение модулей упругости породы E_n и материала анкера E_a ; $Var5(P_{дин})$ – динамическое усилие закрепления анкера в породе (в натуре), кН; $Var7(\sigma_{дин}^{max})$ – максимальные динамические напряжения, возникающие в анкере и породах, МПа; $Var9(T_{уст})$ – время установки анкера в шпур, с.

Рисунок 2 – Изменение времени установки анкера в шпур (а), динамической нагрузки (б) и максимальных динамических напряжений, возникающие в анкере и породах (в) ($d_a/d_{ш}$ и E_n/E_a) при $l_a/d_a=120$

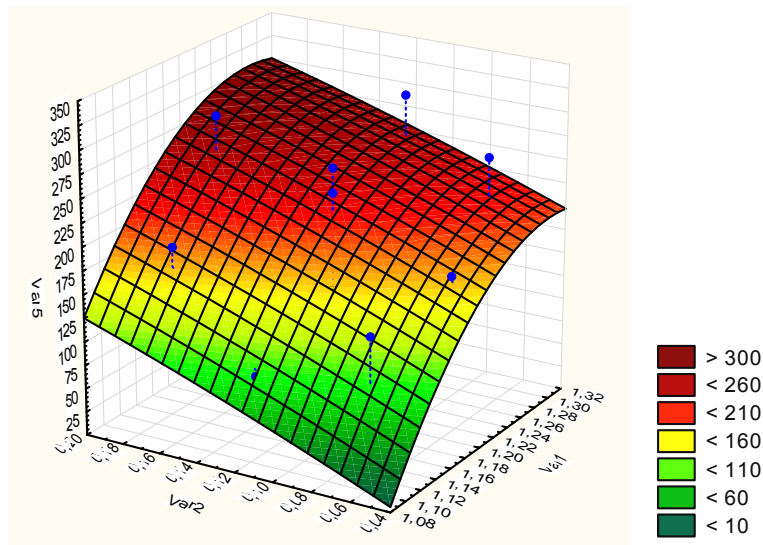
Результаты обрабатывались путём построения графических зависимостей изменения статической нагрузки от влияющих факторов (рисунки 3-4) и получения уравнений регрессии:

$$P_{ст} = f\left(k_0; \frac{E_n}{E_a}\right) = 10453,7 \cdot k_0 + 1366,4 \cdot \frac{E_n}{E_a} - 4015,6 \cdot k_0^2 - 443,2 \cdot k_0 \cdot \frac{E_n}{E_a} - 578,7 \cdot \left(\frac{E_n}{E_a}\right)^2 - 6635,2, \text{ кН} \quad (8)$$

$$R^2 = 0,88.$$

На втором этапе аналогичные исследования проводились с помощью динамической нагрузки. Определялись глубина установки анкеров и необходимое для этого время. В связи с перекрестным влиянием входящих параметров, было

принято решение о проведении полного факторного эксперимента. Зависимость изменения времени установки от влияющих факторов для глинистого сланца представлена на рисунке 5.

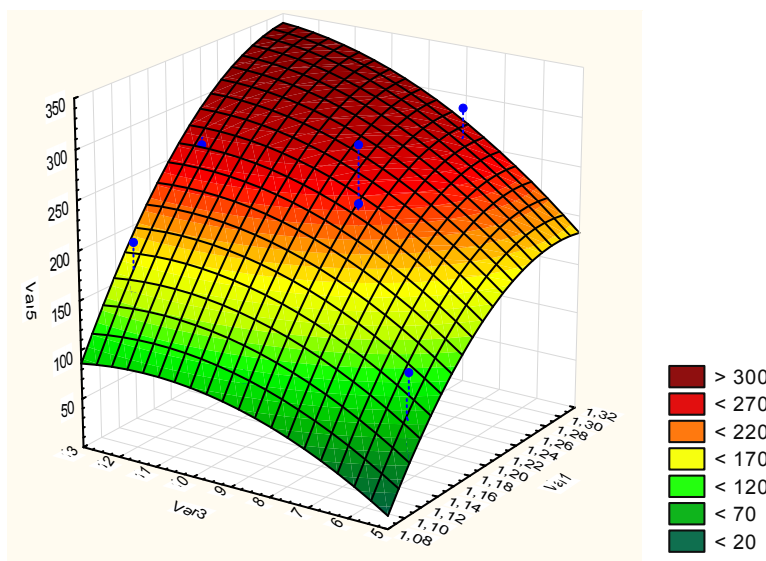


Var1(k_0)– отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$;

Var2(E_n/E_a) - отношение модулей упругости породы E_n и материала анкера E_a ;

Var5($P_{ст}^H$)– статическое усилие закрепления анкера в породе для природы, кН.

Рисунок 3 – Изменение статической нагрузки ($P_{ст}$) (в природе) от отношений $d_a/d_{ш}$ и E_n/E_a



Var1(k_0)– отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$;

Var3(l_a/d_a) - отношение длины анкера l_a к диаметру анкера d_a ;

Var5($P_{ст}^H$)– статическое усилие закрепления анкера в породе для природы, кН.

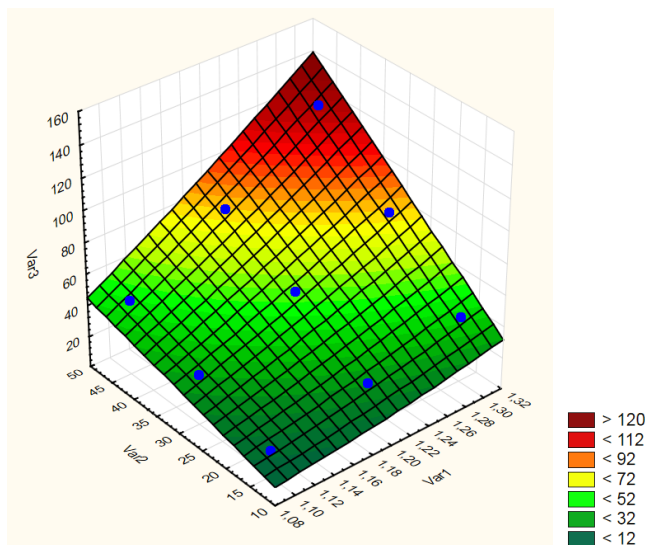
Рисунок 4 –Изменение статической нагрузки ($P_{ст}$) (в модели) от отношений $d_a/d_{ш}$ и l_a/d_a

На третьем этапе определялась нагрузка, необходимая для преодоления сил трения, при извлечении ранее установленных в породе анкеров.

Зависимость изменения нагрузки, необходимой для преодоления сил трения, от влияющих факторов для песчаного сланца представлена на рисунке 6.

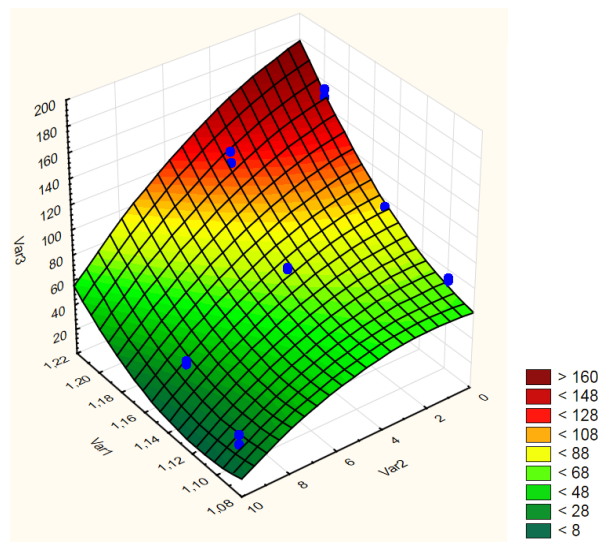
Выполненные исследования подтвердили адекватность разработанных ранее математических моделей. Установлены зависимости, описывающие из-

менение величины статических нагрузок, времени установки анкеров и нагрузок, необходимых для преодоления сил трения, от влияющих факторов.



Var1(k_0) – отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$;
 Var2(l_a/d_a) – отношение длины анкера l_a к диаметру анкера d_a ;
 Var3($T_{уст}$) – время установки анкера в шпур, с

Рисунок 5 – Изменение времени установки анкера ($T_{уст}$) в модели от отношений $d_a/d_{ш}$ и l_a/d_a для глинистого сланца



Var1(k_0) – отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$;
 Var2(l_a/d_a) – отношение длины анкера l_a к диаметру анкера d_a ;
 Var3(N_s) – время установки анкера в шпур, с

Рисунок 6 – Изменение нагрузки, необходимой для преодоления силы трения (N_s) от отношений k_0 и l_a/d_a для песчаного сланца (в модели)

В четвертом разделе «Шахтные исследования по определению параметров способа при установке и извлечении анкеров» определены время установки анкеров и нагрузка, необходимая для преодоления сил трения при их извлечении.

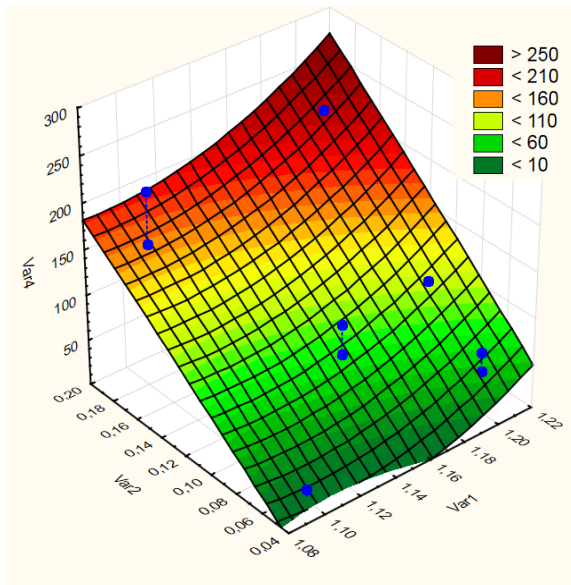
Закрепление анкеров длиной 0,5; 1,0 и 1,5 м диаметром 33; 34,5 и 36 мм осуществлялось динамической нагрузкой в шпуры диаметром 30 мм. По результатам испытаний построены графики изменения времени установки анкеров и нагрузок, необходимых для преодоления сил трения при извлечении анкеров, от влияющих факторов (рисунки 7 и 8), на основании обработки которых получены регрессионные зависимости:

$$T_{уст} = 984,5 \cdot k_0 + 6231 \cdot \frac{E_n}{E_a} - 113,7 \cdot (k_0)^2 - 4369,4 \cdot k_0 \cdot \frac{E_n}{E_a} - 686,8 \cdot \left(\frac{E_n}{E_a}\right)^2 - 1020, \text{ с} \quad (9)$$

$$R^2 = 0,9.$$

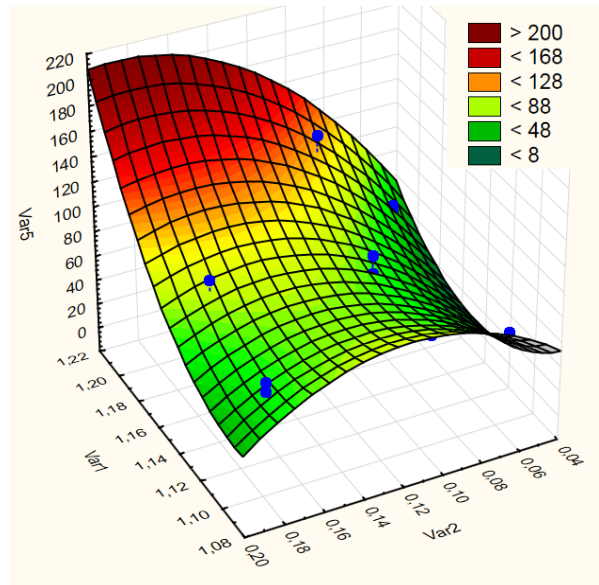
$$N_s = 4737,5 - 7803,6 \cdot k_0 - 9287,3 \cdot \frac{E_n}{E_a} + 3193,4 \cdot (k_0)^2 + 9157,2 \cdot k_0 \cdot \frac{E_n}{E_a} - 2977,3 \cdot \left(\frac{E_n}{E_a}\right)^2, \text{ Н} \quad (10)$$

$$R^2 = 0,88.$$



$\text{Var1}(k_o)$ – отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$;
 $\text{Var2}(E_n/E_a)$ – отношение модулей упругости породы E_n и материала анкера E_a ;
 $\text{Var4}(T_{уст.})$ – время установки анкера, с.

Рисунок 7– Изменение времени установки анкера ($T_{уст.}$, с) от отношений k_o и E_n/E_a



$\text{Var1}(k_o)$ – отношение диаметров анкера d_a и шпура $d_{ш}$;
 $\text{Var2}(E_n/E_a)$ – отношение модулей упругости породы E_n и материала анкера E_a ;
 $\text{Var4}(N_s)$ – сила, необходимая для преодоления силы трения, кН.

Рисунок 8 – Изменение силы, необходимой для преодоления силы трения (N_s) от отношений k_o и E_n/E_a

Выполненные исследования подтвердили техническую возможность реализации способа закрепления анкера. Установлены зависимости, описывающие изменение времени установки анкеров, а также нагрузок, необходимых для преодоления сил трения при их извлечении, от влияющих факторов.

В пятом разделе «Разработка технологии реализации способа и методики определения его параметров» выполнена проверка сходимости результатов теоретических, лабораторных и шахтных исследований, разработана технология реализации способа и методика расчета его параметров.

Сравнение результатов теоретических, лабораторных и шахтных исследований показало, что максимальное расхождение по всем параметрам способа, не превышает 30 %.

Далее с учетом требований ПБ и ПТЭ была разработана технология реализации способа установки анкера и «Методика определения параметров анкеров, устанавливаемых с помощью динамической нагрузки в направляющий шпур с диаметром меньшим, чем у анкера». Алгоритм расчёта параметров предлагаемого способа представлен на рисунке 9.

Рассчитан ожидаемый экономический эффект от внедрения предлагаемого способа установки в сравнении с установкой сталеполимерных анкеров по прямым нормируемым затратам. Он составляет 205,28 руб. для анкера длиной 1,5 м.

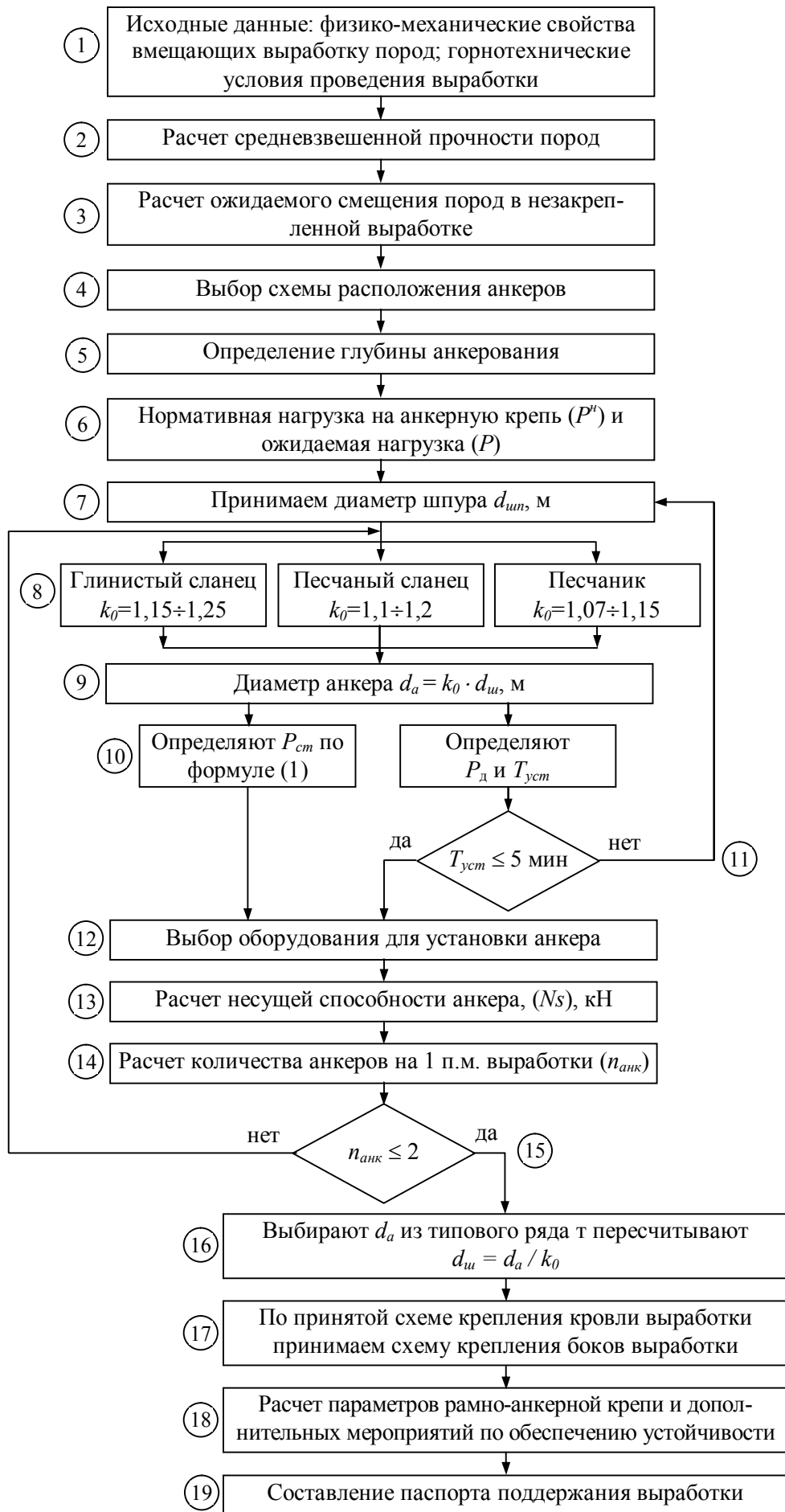


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма методики расчёта параметров способа установки анкера

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача установления особенностей и закономерностей взаимодействия горных пород и анкеров, закрепляемых с помощью динамической нагрузки в направляющих шпурах меньшего диаметра, позволяющих обосновать технологию и параметры реализации безклеевого способа анкерования, обеспечивающие повышение безопасности работ и снижение затрат на крепление.

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

1. Наиболее широко применяются в условиях шахт Донецкого угольного бассейна сталеполимерные анкера, до 40 % стоимости установки которых приходится на ампулы с полимерной смолой. Снизить затраты на крепление выработок возможно за счет разработки нового безклеевого способа установки анкера динамической нагрузкой в направляющий шпур меньшего диаметра.

2. Впервые экспериментально установлены зависимости, описывающие изменение статических нагрузок в модели и натуре, необходимых для установки анкера, времени установки анкера и нагрузок для преодоления сил трения при извлечении анкера для различных типов пород, с учетом коэффициента натяга (k_0), отношения модулей упругости породы и материала анкера и отношения длины анкера к его диаметру.

3. Установлено, что значение нагрузок для преодоления сил трения (N_s , кН) при извлечении анкеров составляют до 70 % от величин нагрузок для установки анкеров в направляющий шпур.

4. Впервые экспериментально установлены зависимости, описывающие изменение времени установки анкера в направляющий шпур и нагрузок, необходимых для преодоления сил трения при извлечении анкера, для различных типов пород, значений коэффициента натяга (k_0), отношений модулей упругости породы и материала анкера, а также отношений длины анкера к его диаметру.

5. Проведенные исследования позволили установить область применения предложенного способа установки анкеров.

6. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показало, что максимальное их расхождение не превышает 30 %.

7. Разработана технология реализации предложенного способа установки анкеров, обеспечивающая устойчивость как самого анкера на начальном этапе его установки, а также устойчивость системы «породный массив – анкер» в процессе дальнейшей установки.

8. Разработана, и согласована с Госгортехнадзором ДНР и утверждена ГУП ДНР «ДУЭК» «Методика определения параметров анкеров, устанавливаемых с помощью динамической нагрузки в направляющий шпур с диаметром меньшим, чем у анкера».

9. Основные выводы и рекомендации диссертационной работы внедрены при разработке «Рекомендаций по поддержанию подготовительных выработок шахт ГУП ДНР «ДУЭК», проводимых в соответствии с программой развития

горных работ на 2021 год», а также в учебном процессе при подготовке специалистов 21.05.04 «Горное дело».

10. Ожидаемый экономический эффект от внедрения предложенного способа по сравнению с технологией установки сталеполлимерных анкеров составляет 205 руб. 28 коп. при диаметре анкера 22 мм и его длине 1,5 м.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

– публикации в рецензируемых специализированных научных изданиях ВАК ДНР:

1. **Дрипан, П.С.** О применении анкерных крепей и систем для поддержания выработок глубоких шахт [Текст] / М.П. Зборщик, А.П. Ключев, Н.Н. Касьян, **П.С. Дрипан** // Уголь Украины. – 1999. – №10. – С. 24-27.

2. **Дрипан, П.С.** Математические модели устойчивости и прочности анкера при закреплении породного массива под действием нагрузки [Текст] / **П.С. Дрипан** // Сборник научных трудов ГОУВО ЛНР «Донбасский государственный технический институт» –Алчевск, 2020. – № 20 (63) – С. 31-40.

3. **Дрипан, П.С.** Результаты шахтных исследований способа установки анкера в направляющий шпур под действием динамической нагрузки [Текст] / А.О. Новиков, И.Н. Шестопалов, **П.С. Дрипан** // Сборник научных трудов ГОУВО ЛНР «Донбасский государственный технический институт» – Алчевск, 2021. – № 24 (67) – С. 18-24.

– публикации рецензируемых научных журналах:

4. **Дрипан, П.С.** Математическая модель процесса динамической установки анкера в направляющий шпур меньшего диаметра, пробуренный в породном массиве [Текст] / **П.С. Дрипан**, Я.В. Шажко // Физика и техника высоких давлений. – 2018. – №3. – С.98-107.

5. **Дрипан, П.С.** Математическая модель внедрения анкера в породный массив под нагрузкой / А.О. Новиков, **П.С. Дрипан** // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – 2018. – №3(55). – С. 91-101.

6. **Дрипан, П.С.** Оценка усилий запрессовки анкеров в горный массив [Текст] / **П.С. Дрипан**, Я.В. Шажко, Н.И. Василенко // Физика и техника высоких давлений. – 2019. – №1. – С. 91-94.

7. **Дрипан, П.С.** Устойчивость анкера при установке в породный массив под действием динамической нагрузки [Текст] / **П.С. Дрипан** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. –№3 (56). – С.37-45.

8. **Дрипан, П.С.** Ударная нагрузка при установке анкера в породный массив [Текст] / **П.С. Дрипан** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк, 2019. – №4(56). – С. – 65-71.

9. **Дрипан, П.С.** Бесклеевой способ закрепления анкера под действием статической нагрузки // А.О. Новиков, **П.С. Дрипан**, И.Г. Старикова // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. – Донецк, 2021. – Вып.1 (58). – С. 59-67.

– публикации в других научных изданиях:

10. **Дрипан, П.С.**, Совершенствование способов закрепления анкерных систем для поддержания горных выработок [Текст] / Н.Н. Касьян, **П.С. Дрипан** // Известия Донецкого горного института. – 1999. – №1. – С.91-93.

11. **Дрипан, П.С.** Влияние характера внешнего силового воздействия на эффективность процесса впрессовки анкера [Текст] / **П.С. Дрипан**, В.Д. Иващенко // Геотехнологии на рубеже XXI века / Донец. гос. техн. ун-т.- Донецк, 2001. – Т.1. – С.38-41.

12. **Дрипан, П.С.** Лабораторные исследования способа закрепления анкера методом статистического вдавливания [Текст] / Н.Н. Касьян, **П.С. Дрипан**, В.А. Андрейко // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2013. – №1(32). – С. 98-103.

13. **Дрипан, П.С.** Физическое моделирование закрепления анкера в породном массиве под действием статической нагрузки [Электронный ресурс] // А.О. Новиков, **П.С. Дрипан** // Проблемы горного давления: сборник научных трудов; Донецкий национальный технический университет. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – №1 (36-37). – С. 10-21.

– патенты:

14. Патент на винахід №38247 Україна. МПК E21D 20/00. Спосіб установки анкера. А.П. Ключев, М.М. Касьян, **П.С. Дрипан**, А.І. Москаленко. Заявл. 12.06.2000; опубл. 15.05.2001; бюл. №4. – 4 стор.

15. Патент на корисну модель №55763 Україна. МКИ E21D 20/00. Спосіб встановлення анкера, М.М. Касьян, О.О. Новіков, Ю.А. Петренко, **П.С. Дрипан**, І.М. Шестопапов, С.Ю. Гладкий, Д.Д. Виговський. Заявл. 04.06.2010, опубл. 27.12.2010, бюл. № 24. – 6 стор.

– публикации по материалам научных конференций:

16. **Дрипан, П.С.** Результаты лабораторных испытаний способов закрепления анкеров, основанных на использовании прессовой посадки [Текст] / **П.С. Дрипан** // Перспективи розвитку гірничих технологій на початку третього тисячеліття: зб. наук. праць.-Алчевськ, 1999. – С.131-135

17. **Дрипан, П.С.** Совершенствование способов закрепления анкерной крепи [Текст] / М.П. Зборщик, А.П. Ключев, Н.Н. Касьян, **П.С. Дрипан** // IV Школа геомеханики: материалы междунар. конф., 18-22 окт. 1999г., Польша, Гливице. – Гливице, 1999. – С.99-103.

18. **Дрипан, П.С.** Перспективные направления совершенствования технологии применения анкерной крепи [Текст] / Н.Н. Касьян, **П.С. Дрипан**, А.А. Кулиш // Проблемы горной технологии: сб. материалов регион. научн.-практ. конф., 30 ноября 2012 г., г. Красноармейск / ГВУЗ"ДонНТУ", Красноармейский индустриальный институт. – Красноармейск, 2012. – С. 8-13.

19. **Дрипан, П.С.** Исследования способа закрепления анкера методом прессовой посадки [Текст] / **П.С. Дрипан** // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 2-й международной научно-практической конференции, 25-26 мая 2016 г., г. Донецк. Т. 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве – Донецк : ДонНТУ, 2016. – С. 132-135.

20. **Дрипан, П.С.** Устойчивость анкера при установке в породный массив под действием динамической нагрузки [Электронный ресурс] / **П.С. Дрипан, И.Ф. Марийчук** // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 5-й международн. науч.-практ. конф., 21-23 мая 2019 г., г. Донецк. Т. 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве – Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2019. – С. 119-126.

21. **Дрипан, П.С.** Лабораторные исследования безклеевого способа установки анкера под действием статической нагрузки [Текст] / А.О. Новиков, И.Н. Шестопалов, **П.С. Дрипан** // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики»: 16-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 19-20 ноября 2020 г., Тула – Минск – Донецк. В 2 т. Т.1: материалы конференции. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. – С.265-272.

22. **Дрипан, П.С.** Физическое моделирование закрепления анкера в горных породах с использованием статической нагрузки [Электронный ресурс] / **П.С. Дрипан, А.В. Жадан** // Проблемы горного дела: сб. науч. тр. II международн. форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, г. Донецк, 8-9 апр. 2021 г. – Донецк: ДОННТУ, 2021. – С. 120-124.