

На правах рукописи

УРАЗБАХТИН Рустам Юсуфович



**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК МАЛОГО
СЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Юнгмейстер Дмитрий Алексеевич

Официальные оппоненты:

Буялич Геннадий Данилович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», кафедра горных машин и комплексов, заведующий кафедрой

Кузиев Дильшад Алишерович

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра горного оборудования, транспорта и машиностроения, доцент

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Защита состоится 30 декабря 2019 г. в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.07 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 30 октября 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ
Иван Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В горной отрасли выработки малого сечения проводят при разведке, добыче или для вспомогательных и технологических функций.

При существующем уровне развития горной техники механизированное проведение выработок малого сечения применяется при добыче угля с использованием комплекса глубокой разработки, осуществляющего разработку угольного пласта из разрезной траншеи камерами длиной около 200 м с удержанием кровли целиками. Проходческие работы по разведке месторождений и для строительства вспомогательных выработок (вентиляционные, технологические для прохода людей и доставки грузов) проводят вручную, в том числе с применением буровзрывных работ по крепким породам.

В тоже время горные массивы характеризуются широким диапазоном изменения крепости пород, а при наличии слабоустойчивых или неустойчивых кровлей в подземных выработках необходимо крепление выработок, например, рамами с малым шагом. Все перечисленное многократно увеличивает трудоемкость проходки выработок малого сечения большой протяженности, что обуславливает применение механизации этого трудоемкого процесса.

Отсутствие механизации трудоемких работ при проведении выработок малого сечения определяет задачу создания эффективных и мобильных средств механизации и проходческих комплексов на их основе для проведения выработок в массивах пород различной крепости и при переменной устойчивости кровли, поэтому решение указанной задачи является весьма актуальным.

Степень разработанности темы исследования

В создание машин и средств механизации проходческих работ внесли существенный вклад исследовательские и проектные институты: ИГД им. А.А. Скочинского, МакНИИ, ВНИМИ, а также такие ученые, как: А.Б. Ефременков, А.Б. Жабин, А.Г. Валчев, А.Н. Капустин, В.А. Бреннер, В.В. Аксенов, В.В. Чаплыгин, В.Ю. Бегляков, Г.Д. Буялич, Л.И. Кантович, Р. Kogler и др.

Несмотря на наличие научных исследований по механизации проходческих работ при проведении выработок малого сечения, в настоящее время недостаточно освещены вопросы, связанные с оценкой влияния нагрузок, действующих на конструкции проходческих комплексов со стороны прилегающих пород выработки при проходке в породах различной крепости и кровлях различной устойчивости для обоснования параметров силового оборудования проходческого комплекса; для модульных комплексов решены вопросы проведения выработок по породам низкой или высокой крепости, однако разработке комплексов для проходки по породам с широким диапазоном крепости уделено недостаточно внимания, что требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель исследования: выявление закономерностей изменения силовых параметров комплекса горного оборудования на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в породах различной крепости и кровлях различной устойчивости для научно обоснованного технического решения проходческого комплекса при проведении выработок малого сечения, внедрение которого внесет значительный вклад в развитие горнодобывающей отрасли страны.

Идея исследования заключается в научно обоснованной оценке влияния нагрузок со стороны горного массива на элементы проходческого комплекса при проходке выработок малого сечения и пошаговой передвижке его элементов в пространстве горного массива шахт, позволяющей по специальному алгоритму осуществлять выбор горного оборудования комплекса в рамках предложенных схемных и конструктивных решений и управлять комплексом как единой системой.

Задачи исследования:

1. Анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований по механизации проходческих работ при проведении выработок малого сечения.
2. Проведение теоретических исследований по выявлению закономерностей изменения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок

при его пошаговом перемещении в различных по крепости породах и переменной устойчивости кровлях и разработке алгоритма функционирования комплекса при проведении выработки малого сечения.

3. Создать экспериментальный стенд и провести исследования для определения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи при передвижке его частей в зависимости от схемы нагружения модели комплекса в массиве.

4. Провести моделирование функционирования машин проходческого комплекса на основе имитационной модели при скоростной проходке выработки малого сечения по породам различной крепости и для кровлей переменной устойчивости с учетом параллельных и последовательных процессов проходческого цикла.

5. Разработать методику расчета и выбора основных параметров проходческого комплекса, а также рекомендации по области его применения.

Научная новизна исследования

Разработан алгоритм управления проходческим комплексом на основе имитационной модели функционирования его узлов при проходке выработки малого сечения, включающий взаимное соответствие рациональных параметров крепи и исполнительных органов по отбойке забоя по параметру минимального времени проходки при совмещении операций проходческого цикла.

Теоретическая и практическая значимость работы

Установлена зависимость изменения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в различных по крепости породах и переменных по устойчивости кровлях.

Создана имитационная модель функционирования проходческого комплекса при скоростной проходке выработки малого сечения, позволяющая прогнозировать сроки проведения проходческих выработок в различных горных массивах. Обоснованы параметры основных узлов крепи комплекса, обеспечивающего крепление призабойного пространства, в том числе силовых гидроцилиндров

(гидростоек, гидродомкратов) с учетом степенной зависимости коэффициента сопротивления передвижки частей комплекса от крепости пород при различных вариантах нагружения частей комплекса.

Результаты исследований приняты к внедрению ЗАО «МЕТРОКОН», г. Санкт-Петербург.

Методология и методы исследования. В работе использован комплексный метод исследований, включающий теоретические и экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов методами математической статистики, имитационное и компьютерное моделирование.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует п.4 «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горнотехническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями» области исследований паспорта специальности 05.05.06 – Горные машины.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено необходимое усилие передвижки частей проходческого комплекса на базе шагающей крепи, которое определяет продолжительность цикла проходческих работ, при этом величина усилия передвижки должна быть не менее 392 кН в выработках с крепостью пород горного массива $f=1$ при нагружении со стороны кровли и боков выработки, а величина коэффициента сопротивления передвижки выражается степенной зависимостью от крепости пород горного массива и находится в пределах $k_{сопр}=0,4-6,0$, при этом по величине этого коэффициента с достаточной для инженерных расчетов точностью возможно оценить усилие передвижки при пошаговом перемещении комплекса, определяемое величиной и характером нагружения частей комплекса со стороны прилегающего горного массива.

2. Минимальная величина длины выработок малого сечения ($2,25 \text{ м}^2$) по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м, при которой применение комплекса является рациональным, составляет

10 м, а максимальная протяженность выработок при проходке комплексом ограничивается эффективностью оборудования по отгрузке и транспортировке породы, что подтверждается результатами имитационного моделирования, при этом зависимость скорости проведения выработки проходческим комплексом от коэффициента крепости пород выражается линейной функцией.

Степень достоверности и апробация результатов работы.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, обусловлена использованием методов классической механики, статистики для анализа экспериментальных данных, достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов. Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и получили положительную оценку на Международных конференциях: в Краковской горно-металлургической академии (Краковская горно-металлургическая академия, Польша, Краков, 2015 г.); на XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2017 г.); на международной конференции молодых ученых (Фрайбергская горная академия, Германия, Фрайберг, 2017 г.); на международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017, 2018» (г. Санкт-Петербург, 2017, 2018 г.).

Личный вклад соискателя заключается в: постановке цели, формулировке задач и разработке методик исследований; проведении анализа основных теоретических представлений об определении силовых параметров узлов проходческого комплекса на базе шагающей крепи для обеспечения пошаговой передвижки в породах различной крепости и кровлях переменной устойчивости; проектировании и изготовлении лабораторного стенда, проведении экспериментальных исследований процессов перемещения модели крепи комплекса при различных вариантах нагружения его частей; обосновании конструкции проходческого комплекса повышенной эффективности, а также методики расчетов его основных параметров.

Данные о публикациях автора. По результатам исследования опубликовано 9 печатных работ, в том числе 4 статьи в трех рецензируемых изданиях из перечня, рекомендованного ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, две статьи в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных SCOPUS и Web of Science; получены 2 патента на изобретения.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, 3 приложений, общим объемом 135 страниц печатного текста, содержит 11 таблиц и 71 рисунок, список литературы из 106 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены: актуальность и степень разработанности темы исследования, цель, идея, задачи и научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, соответствие паспорту специальности, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы, личный вклад соискателя, данные о публикациях автора.

В первой главе выполнен анализ конструкций горного оборудования для проведения проходческих работ в различных горно-геологических условиях. Установлено, что при проведении выработок малого сечения недостаточно освещены вопросы, связанные с универсализацией и унификацией узлов комплекса при проведении выработок в породах различной крепости и кровлях переменной устойчивости; отсутствуют методики выбора параметров силового оборудования проходческого комплекса на основе нагрузок, а также изменения значений величин, действующих на конструкцию проходческого комплекса на базе шагающей крепи со стороны прилегающих пород выработки при проходке по породам различной крепости и кровлям переменной устойчивости; все перечисленное требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований. В конце первой главы определены цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены теоретические исследования по выявлению закономерностей изменения силовых параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи от воздействия внешних нагрузок при его пошаговом перемещении в различных по крепости породах и переменных по устойчивости кровлях.

На разработку конструктивного технического решения проходческого комплекса и выбор его параметров влияют условия применения комплекса, а также требования, предъявляемые при его работе, такие как глубина проходческих работ, крепость пород, устойчивость кровли, а также безопасность и высокая скорость проведения выработок малого сечения, при минимальных затратах времени на транспортировку и монтаж проходческого комплекса. Схемное решение проходческого комплекса для проведения выработок малого сечения основывается на принципах унификации, многофункциональности и снижения металлоёмкости конструкции.

Определение рациональных параметров силового оборудования для увеличения скорости крепления призабойного пространства, основаны на решении уравнения баланса сил при передвижке нагруженной шагающей крепи комплекса. Изменение крепости пород при проведении выработки малого сечения оказывает значительное влияние на перераспределение напряжений в горном массиве, что в свою очередь приводит к изменению вертикальных P_v и боковых P_b сил (рисунок 1), действующих на перекрытия и ограждения крепи комплекса со стороны кровли и боков выработки. Обоснование схем нагружения перекрытий и ограждений крепи позволяет определить значения величин усилия передвижки F_T и рассчитать основные конструктивные параметры частей крепи, на основе которых возможно обоснованно выбрать гидроцилиндры, маслостанцию, соединительные и крепежные элементы.

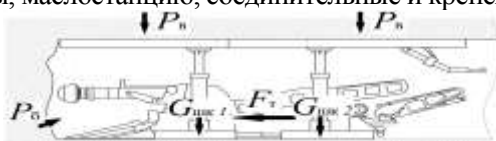


Рисунок 1 – Расчетная схема передвижения проходческого комплекса на базе шагающей крепи при установившемся режиме работы

При движении секций крепи проходческого комплекса в установившемся режиме со средней скоростью, упрощенная формула усилия передвижки комплекса примет вид:

$$F_T = G_{шкi} k_{сопр}, \quad (1)$$

где $G_{шкi}$ – вес головной или концевой частей комплекса, Н; $k_{сопр}$ – коэффициент сопротивления передвижки частей комплекса. Зависимость коэффициента сопротивления передвижки секций крепи проходческого комплекса имеет широкий диапазон варьирования, обусловленный вариантом нагружения комплекса (рисунок 2, г) и выражается зависимостью:

$$k_{сопр} = \mu \left[1 + \frac{2 \left(g \rho 2al \left[a + h \cdot ctg \left(\frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \right] \right)}{G_{шкi}} + \frac{2 \left(\frac{g \rho hl}{2} (2b_1 + h) \cdot tg^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \right)}{G_{шкi}} \right], \quad (2)$$

где μ – коэффициент сопротивления перемещению стальных поверхностей оснований секции крепи по породе ($\mu = 0,4-0,6$); ρ – плотность пород, кг/м³; a – полупролет свода, м; l , b_1 – длина, высота свода обрушения, м; h – высота выработки, м; $\varphi = \arctg f$ – угол внутреннего трения.

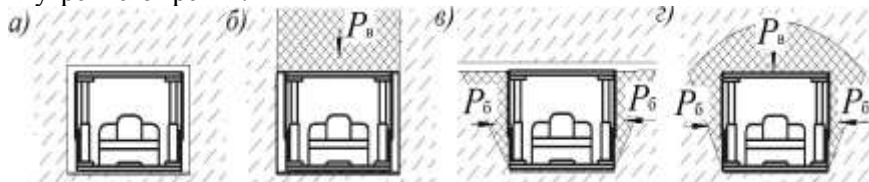


Рисунок 2 – Варианты нагружения проходческого комплекса: а – отсутствие внешних нагрузок на перекрытия крепи комплекса; б – нагружение со стороны кровли выработки; в – нагружение со стороны боков выработки; г – нагружение со стороны кровли и боков выработки

По результатам теоретических исследований определен интервал значений коэффициента сопротивления передвижки крепи проходческого комплекса в зависимости от вариантов нагружения (рисунок 2):

1) отсутствие внешних нагрузок на перекрытия комплекса ($k_{\text{сопр}} = 0,4-0,6$);

2) нагружение со стороны кровли выработки ($k_{\text{сопр}} = 0,5-3,0$);

3) нагружение со стороны боков выработки ($k_{\text{сопр}} = 0,40-0,85$);

4) нагружение со стороны кровли и боков выработки ($k_{\text{сопр}} = 0,5-6,0$).

Для упрощения указанных выше формул 1 и 2 величина коэффициента сопротивления передвижки элементов проходческого комплекса при нагружении со стороны кровли и боков выработки (рисунок 2, г) может быть выражена степенной функцией (рисунок 3, кривая 4) вида $k_{\text{сопр}}(f) = 4,39f^{-0,80}$, причем параметры 4,39 и -0,80 установлены методами аппроксимации и учитывают влияние на $k_{\text{сопр}}$ величин масс, действующих на перекрытия комплекса.

Приведена номограмма определения диаметров гидродомкрата (рисунок 3) на основе определенного интервала изменения коэффициента сопротивления передвижки шагающей крепи в зависимости от коэффициента крепости пород f и вариантов нагружения перекрытий комплекса с учетом методики выбора основных характеристик гидравлических цилиндров при использовании параметрических рядов диаметров поршней и давлений гидравлической системы.

На рисунке 3: 1 – кривая изменения коэффициента сопротивления передвижки шагающей крепи от коэффициента крепости пород при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки крепи; 2 – при наличии боковых нагрузок, действующих на боковые стенки крепи со стороны боков выработки; 3 – при наличии вертикальной нагрузки, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки; 4 – при наличии вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки; 5 – кривая изменения усилия передвижки от диаметра поршня при давлении в гидравлической сети 63 МПа; 6 – 50 МПа; 7 – 40 МПа; 8 – 32 МПа; 9 – 25 МПа; 10 – 20 МПа.

На рисунке 3, кривая 4 представлен пример использования номограммы. При крепости пород в выработке $f = 1$ максимальное значение коэффициента сопротивления передвижки крепи комплекса

$k_{сопр}=6$, которое соответствует неблагоприятным горно-геологическим условиям, при которых значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки максимальны (точка 1.1, 1.2 на рисунке 3). Определяется необходимое рабочее усилие, развиваемое гидродомкратом передвижки крепи $F_n=120$ кН (точка 1.3 на рисунке 3). Дальнейшее определение усилия передвижки крепи осуществляется с учетом коэффициента запаса $k_3=3$ и количества гидродомкратов $n=2$, обеспечивающих передвижку крепи. Таким образом, усилие гидродомкрата должно быть не меньше 180 кН (точка 1.4 на рисунке 3). В соответствии с параметрическими рядами диаметров поршней гидроцилиндров и номинальных давлений в гидравлической сети значение усилия одного гидродомкрата передвижки крепи составляет $F=196$ кН при диаметре поршня гидродомкрата $d=100$ мм и давлении в гидравлической сети $p=25$ МПа, а необходимое усилие для передвижки проходческого комплекса на базе шагающей крепи должно быть не менее 392 кН.

Для уменьшения сроков проходческих работ при проведении выработки малого сечения и соответственно повышения скорости проходки разработан алгоритм операций проведения проходческой выработки (рисунок 4) на основе минимизации количества последовательных операций и увеличения числа операций, проводимых параллельно.

На основе указанного алгоритма разработана имитационная модель функционирования проходческого комплекса при проходке выработок малого сечения с использованием различных исполнительных органов для обработки забоя в породах различной крепости; крепления кровли переменной устойчивости над проходческим оборудованием и крепления пройденной выработки комплектами рам специальной конструкции.

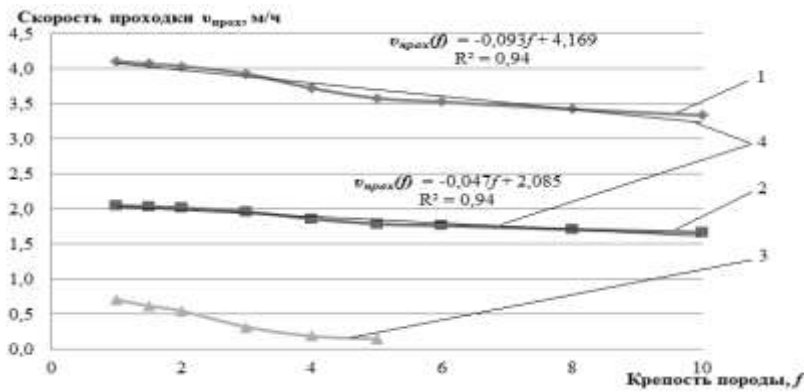


Рисунок 5 – Результаты имитационного моделирования: график зависимости скорости проведения выработки малого сечения от крепости пород (f) при использовании: 1 – проходческого комплекса с шагом передвижки (частотой крепления) каждый 1 м; 2 – проходческого комплекса с шагом передвижки каждые 0,5 м; 3 – ручного труда с шагом крепления выработки каждые 0,5 м; 4 – проходческого комплекса (усредненные значения скоростей проходки)

По результатам имитационного моделирования, которые представлены на рисунке 5, видно, что на величину скорости проведения выработки малого сечения значительное влияние оказывают крепость пород f , а также устойчивость кровли и боков выработки.

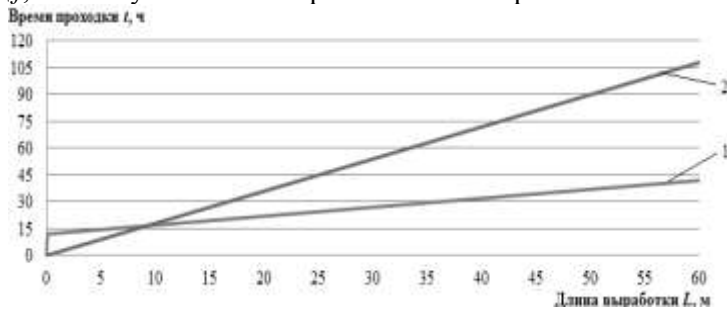


Рисунок 6 – Зависимость изменения времени проведения выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$ от длины выработки по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м при проходке: 1 – механизированной; 2 – ручной

На рисунке 6 видно, что рациональное использование проходческого комплекса при проведении выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$ начинается с длины выработки 10 м в сравнении с ручной проходкой по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования изменения усилия передвижки F_T модели шагающей крепи комплекса в лабораторных условиях в зависимости от схемы нагружения перекрытий и ограждений крепи в массиве пород для определения силовых параметров устройства передвижки секции крепи.

Спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд для определения фактического значения F_T (рисунок 7), который включает в себя: модель шагающей крепи 1, короб 2, в которой дополнительно устанавливаются перегородки 2 (рисунок 7, а), позволяющие имитировать различное давление пород на модель шагающей крепи, как со стороны кровли, так и с боков выработки, посредством загрузки в короб породы 3. Лебедка 4 с электроприводом 5 необходимы для создания усредненной по величине скорости передвижки модели крепи при замере усилия передвижки тензодатчиком 6.

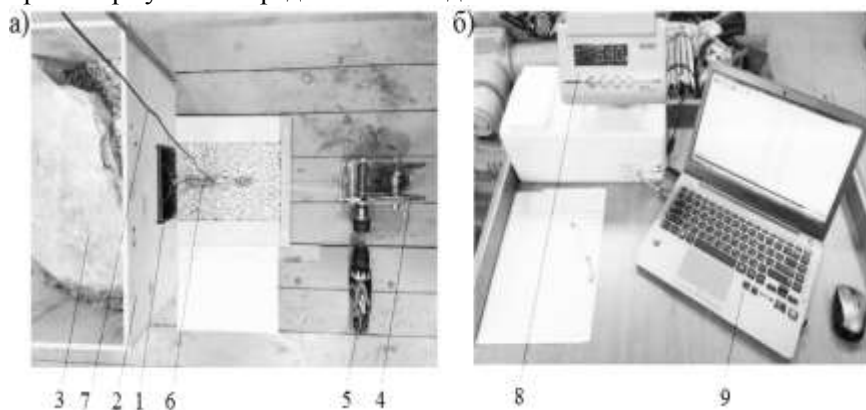


Рисунок 7 – Лабораторный стенд для определения усилия передвижки модели крепи комплекса: а – общий вид; б – оборудование для замера значений усилий передвижки модели крепи во времени

Показания тензодатчика посредством экранированного кабеля 7 передаются на цифровой терминал 8 (рисунок 7, б), где персональный компьютер 9, в реальном времени фиксирует время и усилие передвижки в программе *COM Port Toolkit*.

Имитация различного давления на модель шагающей крепи, как со стороны кровли, так и с боков выработки, осуществлялась посредством загрузки в короб породы.

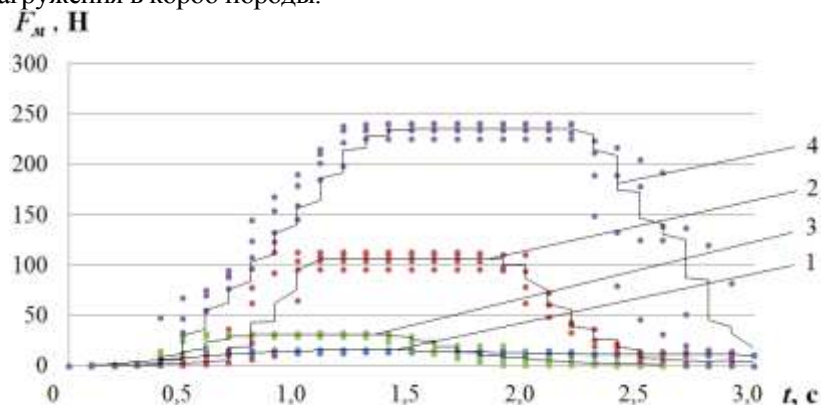


Рисунок 8 – Изменение усилия передвижки модели крепи в образцах известняковых пород от времени передвижки модели крепи: 1 – без нагружения модели; 2 – при нагружении вертикальной нагрузкой; 3 – при нагружении боковыми нагрузками; 4 – при нагружении вертикальной и боковыми нагрузками, действующие на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки

По результатам экспериментальных исследований построены зависимости усилия передвижки модели крепи F_m от времени передвижки t (рисунок 8) при шаге передвижки $l=0,2$ м и среднем значении скорости передвижки $v=0,1$ м/с, которая соответствует максимальной скорости передвижки шагающей крепи в условиях угольных шахт.

Наибольшее значение усилия передвижки модели крепи проходческого комплекса проявляется при нагружении боковых стенок и перекрытий модели комплекса со стороны кровли и боков выработки (рисунок 8, кривая 4) и составляет $F_m=234$ Н. С учетом масштабного

коэффициента $k_m=500$, определенного на основе критериев подобия методом анализа уравнений и законов механики, при переходе от параметров модели к параметрам оригинала, значения усилия передвижки секции проходческого комплекса и коэффициента сопротивления передвижки составляют $F_n=116,9$ кН и $k_{сопр}= 5,9$, что подтверждают значения (рисунок 3, кривая 4), полученные теоретически $F_T=120$ кН и $k_{сопр}= 6$.

В среде *AutoDesk Inventor*, методом конечных элементов, при моделировании процесса нагружения 3D модели секции механизированной шагающей крепи проходческого комплекса (рисунки 9, 10) получены эпюры напряжений крепи (рисунок 11). Нагружение шагающей крепи проходческого комплекса осуществлялось точечной и распределенными нагрузками при имитации вариантов нагружения перекрытий и ограждений крепи крупными и мелкими кусками породы, образовавшиеся в результате обрушения кровли и боков выработки. По результатам анализа критических напряжений в элементах шагающей крепи комплекса были усилены опорные конструкции.

В четвертой главе представлено компоновочное решение проходческого комплекса, методика расчета его основных параметров, а также рекомендации по области его применения, составленные по результатам работы и переданные для внедрения в ЗАО «Метрокон».

На рисунке 12 показано компоновочное решение проходческого комплекса (Пат. № 2612165 РФ). Проходческий комбайн 1 производит разрушение горного массива ударным исполнительным органом. При этом кровля над комбайном удерживается механизированной шагающей крепью 2. Транспортировка породы осуществляется, например, ленточными перегружателями 3. Проветривание выработки производится с помощью вентилятора местного проветривания и вентиляционных труб 4. Крепление выработки производится рамной крепью 6, установка которой осуществляется крепеустановщиком 5. Конструкция рамной крепи 6 отличается максимальной простотой ее разворачивания из транспортного положения в рабочее и установки в сбойке.

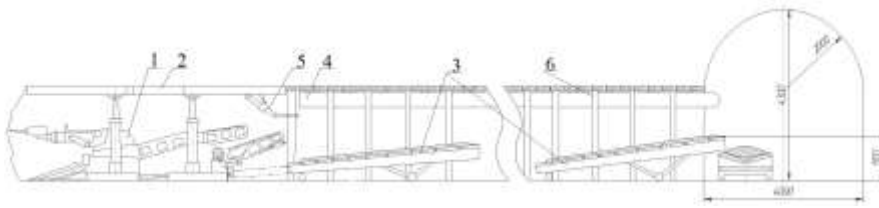


Рисунок 12 – Компонентное решение проходческого комплекса

Комбайн проходческого комплекса снабжен сменными исполнительными органами: коронка с резцами для обработки хрупких и мягких пород (уголь); ударный исполнительный орган для обработки забоя повышенной крепости. При наличии в зоне работы комплекса разрушенных металлоконструкций используются дополнительные исполнительные органы: гидравлические ножницы, дисковая пила, бетонолом. Быстрозаменяемость исполнительных органов обеспечивает высокую скорость проходческих работ.

Таким образом, применение разработанного проходческого комплекса, состоящего из быстросборных модульных узлов, обеспечит механизацию проведения выработок малого сечения по породам различной крепости и кровлям переменной устойчивости, исключив трудоемкий ручной труд и снизив при этом сроки проходческих работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации приведены разработанные автором теоретические и практические положения, совокупность которых можно квалифицировать как обоснования схемного решения и параметров проходческого комплекса на базе шагающей крепи для проведения выработок малого сечения, основанного на унифицированных узлах, с целью повышения скорости проходческих работ.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Анализ известных конструкций и параметров основных узлов и машин комплексов для проведения проходческих работ, показал отсутствие апробированных конструкций проходческих комплексов для

проходки скоростных выработок малого сечения по породам различной крепости и кровлям различной устойчивости.

2. Теоретически обосновано необходимое усилие передвижки частей проходческого комплекса на базе шагающей крепи, которое определяет продолжительность цикла проходческих работ, при этом величина усилия передвижки должна быть не менее 392 кН, а величина коэффициента сопротивления передвижки находится в пределах $k_{\text{сопр}}=0,4-6,0$ и зависит от состояния кровли.

3. Установлена экспериментальная зависимость усилия передвижки модели комплекса на базе шагающей крепи от времени при различных вариантах нагружения его частей, на основе которой при переходе от параметров модели к параметрам оригинала с учетом масштабного коэффициента подтвержден интервал значений коэффициента сопротивления передвижки частей проходческого комплекса ($k_{\text{сопр}}=0,4-6,0$).

4. Определена рациональная область применения проходческого комплекса при проведении выработки малого сечения $2,25 \text{ м}^2$, которая начинается с длины выработки – 10 м, в сравнении с ручной проходкой по породам горного массива крепостью $f \leq 2$ в выработках с неустойчивой кровлей, шагом установки рамной крепи каждые 0,5 м.

5. Составлены и приняты для внедрения ЗАО «МЕТРОКОН» запатентованное конструктивное решение проходческого комплекса, методика расчета параметров комплекса, включающая расчет скорости крепления, диаметров рабочих цилиндров и исполнительных органов по разработке забоя, возможные области применения комплекса (шахтные выработки, вентиляционные выработки метро, дорожные работы, выработки для горноспасательных работ).

6. Составлена номограмма определения диаметров гидродомкрата на основе силовых параметров передвижки частей шагающей крепи проходческого комплекса в зависимости от коэффициента крепости пород f .

7. В среде AutoDesk Inventor методом конечных элементов при моделировании процесса нагружения 3D модели секции шагающей крепи проходческого комплекса получены эпюры напряжений крепи,

выявлены критические напряжения в элементах шагающей крепи комплекса и выполнено усиление конструкций.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Коршунов, Г. И. Комплекс для спасательных работ на шахтах при завалах [Текст] / Г. И. Коршунов, Д. А. Юнгмейстер, С. А. Лавренко, А. Э. Сабитов, **Р. Ю. Уразбахтин** // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – №3. – С. 3–8.

2. Юнгмейстер, Д. А. Рациональная конструкция комплекса для спасательных работ на шахтах [Текст] / Д. А. Юнгмейстер, О. Г. Агошков, **Р. Ю. Уразбахтин**, А. В. Иванов // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – №2. – С. 56–64.

3. Сабитов, А. Э. Обоснование компоновки параметров перфораторов – ударников для исполнительных органов проходческих комбайнов [Текст] / А. Э. Сабитов, А. И. Исаев, Д. А. Юнгмейстер, **Р. Ю. Уразбахтин** // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 4. – С. 17–22.

4. **Уразбахтин, Р. Ю.** Результаты теоретических и лабораторных исследований спасательного комплекса для угольных шахт [Текст] / Р. Ю. Уразбахтин, Д. А. Юнгмейстер // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 3. – С. 98–103.

Публикации в изданиях, индексирующихся в международной базе данных SCOPUS:

5. Yungmeister, D. A. Rescue complex for coal mines / D. A. Yungmeister, **R. Yu. Urazbakhtin**. – DOI 10.1088/1755-1315/87/9/092032. – Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. 87 092032. – URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/87/9/092032/pdf> (дата обращения: 10.03.2018).

6. **Urazbakhtin, R. Yu.** The results of studies of the tunneling rescue complex for coal mines / R. Yu. Urazbakhtin, D. A. Yungmeister. – DOI 10.1088/1757-899X/560/1/012130. – Текст: электронный // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. 560 012130. – URL:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012130/pdf> (дата обращения: 15.08.2019).

Публикации в других отечественных изданиях:

7. Юнгмейстер, Д. А. Рациональные параметры комплекса для спасательных работ на шахтах [Текст] / Д. А. Юнгмейстер, **Р. Ю. Уразбахтин**, А. И. Исаев // XIV Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Труды 14-й международной научно-технической конференции 07-08 апреля 2016. Екатеринбург. – 2016. – С. 164–166.

8. Юнгмейстер, Д. А. Горные машины с модернизированными конструкциями ударных исполнительных органов [Текст] / Д. А. Юнгмейстер, Д. А. Мельников, **Р. Ю. Уразбахтин** // XV Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Екатеринбург. – 2017. – С. 124–128.

9. Юнгмейстер, Д. А. Рациональные параметры комплекса для спасательных работ на угольных шахтах [Текст] / Д. А. Юнгмейстер, **Р. Ю. Уразбахтин** // Инновации на транспорте и в машиностроении: Труды 4-ой международной научно-практической конференции 28-29 апреля 2016 г. / «Санкт-Петербургский горный университет». Санкт-Петербург. – 2016. – С. 59–62.

Результаты интеллектуальной деятельности:

10. Патент № 2599115 Российская Федерация, МКП E21D 9/10, E21C 27/28. Проходческий комплекс для проведения вспомогательных выработок / Д. А. Юнгмейстер, Г. В. Соколова, А. И. Исаев, А. Э. Сабитов, **Р. Ю. Уразбахтин**, С. Г. Портнов, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2015132245/03; заявл. 03.08.2015, опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28.

11. Патент № 2612165 Российская Федерация, МКП E21F 11/00. Устройство для проведения спасательных работ / Д. А. Юнгмейстер, **Р. Ю. Уразбахтин**, Г. В. Соколова, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2016116428; заявл. 26.04.2016, опубл. 02.03.2017, Бюл. № 7.

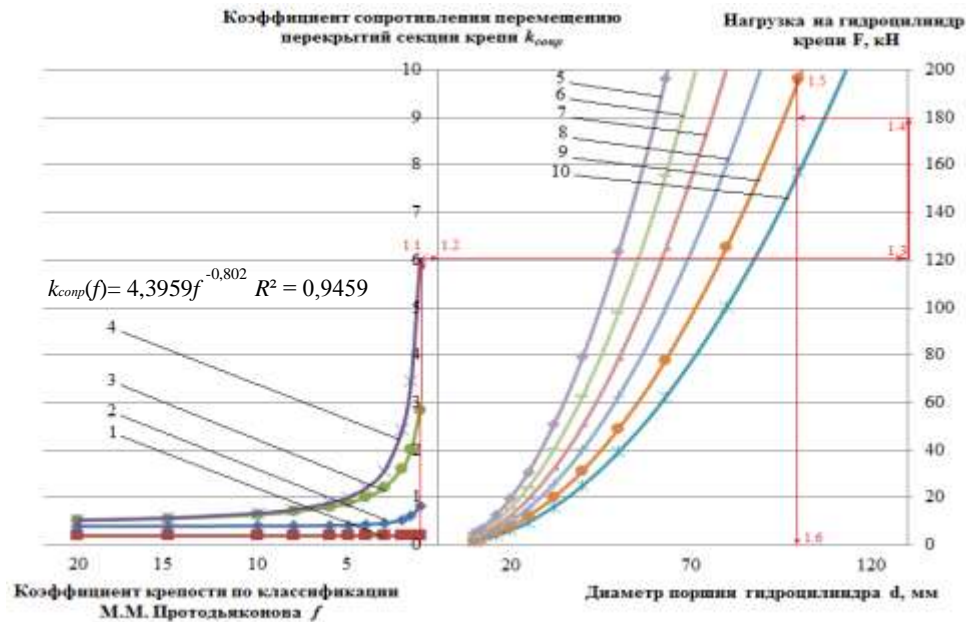


Рисунок 3 – Номограмма для определения диаметра гидродомкрата шагающей крепи проходческого комплекса в зависимости от крепости f и варианта нагружения перекрытий

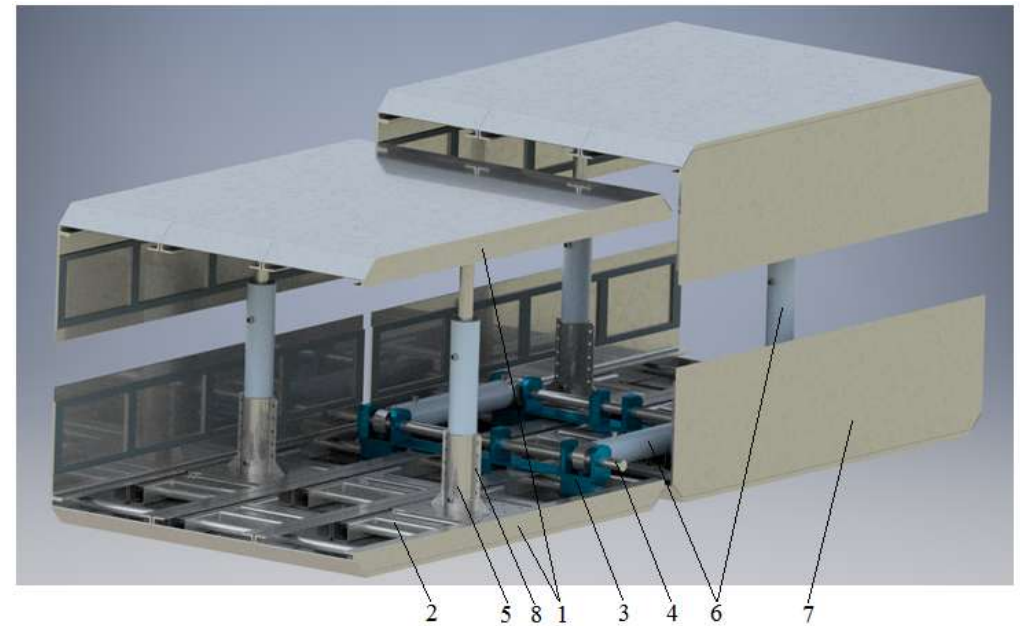


Рисунок 9 – Конструкция шагающей крепи проходческого комплекса: 1 – перекрытия крепи; 2 – основание; 3 – упор гидродомкрата; 4 – стержень; 5 – упор гидростойки; 6 – гидростойка (гидродомкрат); 7 – ограждения крепи; 8 – крепежные элементы

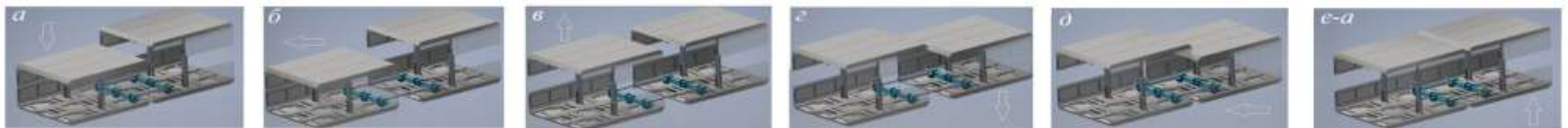


Рисунок 10 – Схема перемещения шагающей крепи проходческого комплекса: а – перекрытие передней части опускается; б – передняя часть выдвигается на забой; в – перекрытие передней части поднимается до упора в кровлю; г – перекрытие задней части опускается; д – задняя часть передвигается к передней части; е – перекрытия задней части поднимается до упора в кровлю

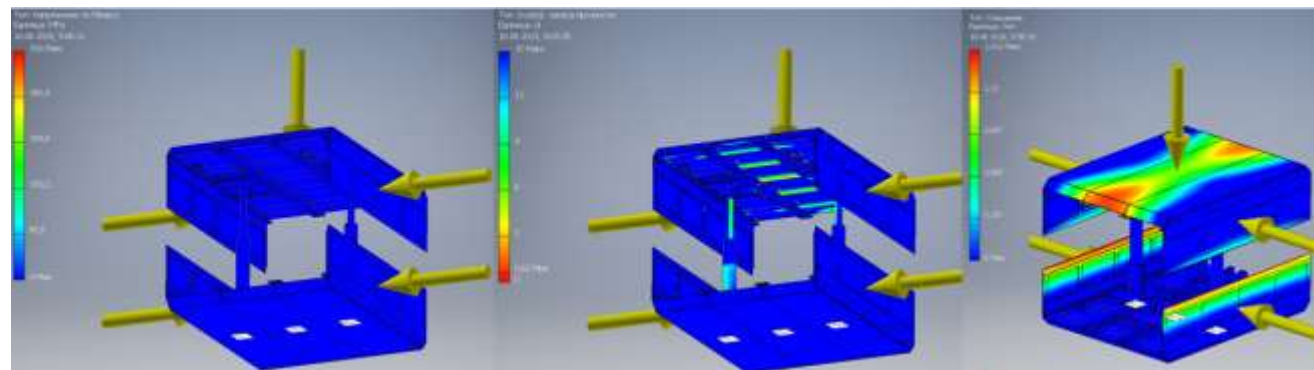
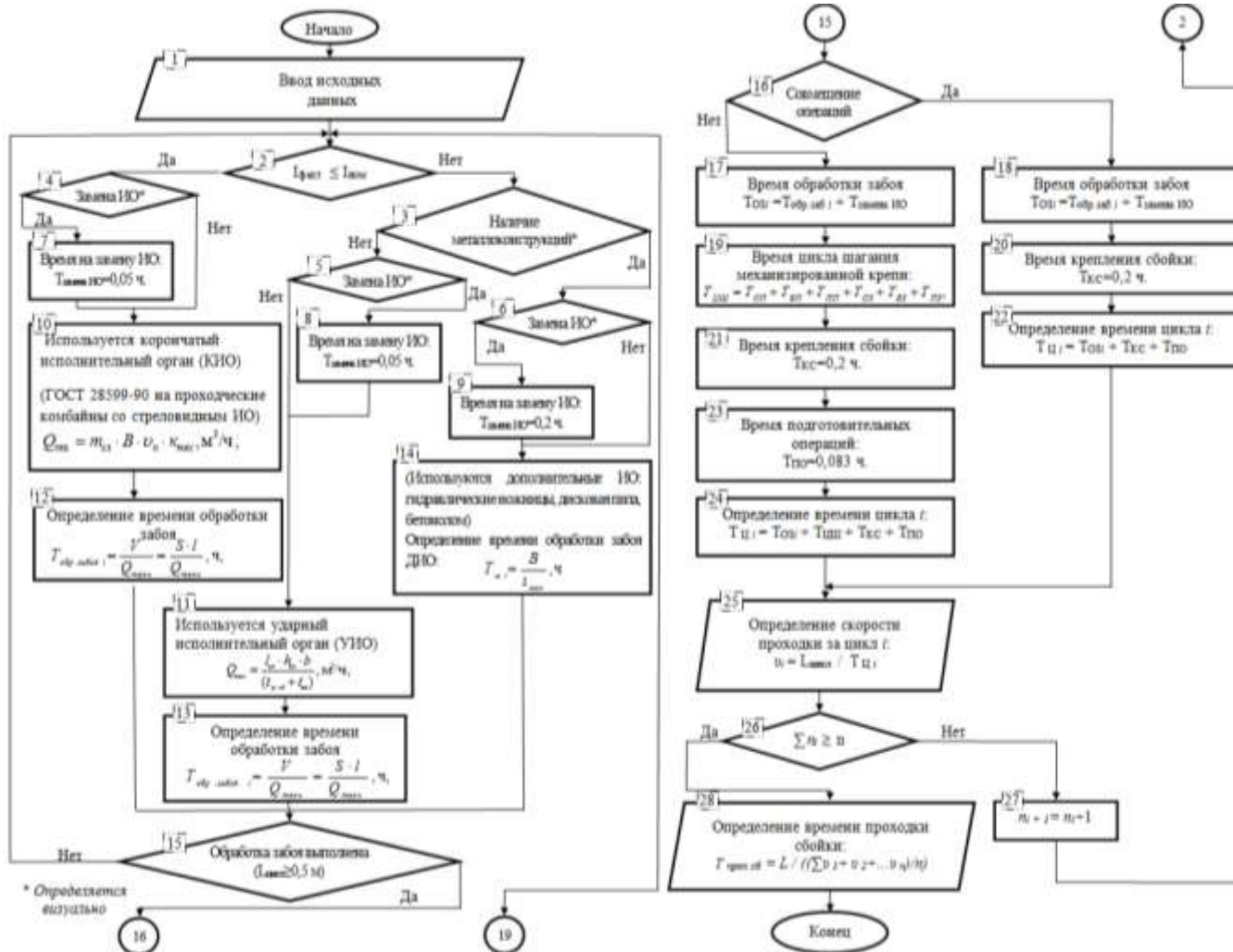


Рисунок 11 – Результаты исследования 3D модели шагающей крепи проходческого комплекса при моделировании процесса нагружения перекрытий крепи в среде *AutoDesk Inventor* при определении: а – предела нагрузки (напряжений) деталей крепи; б – коэффициента запаса прочности деталей крепи; в – смещений в пространстве



Пояснения к рисунку 4.

В блоке 1 производится ввод исходных данных; блок 2 – сверяется показание фактического значения силы тока с номинальным на исполнительном органе проходческого комплекса; блок 3 – проверка на наличие металлоконструкций; 4, 5, 6 – проверка на соответствие установленного исполнительного органа комплекса условиям в призабойном пространстве; 7, 8, 9 – расчет времени на замену исполнительного органа соответствующего условиям в призабойном пространстве; 10, 11 – расчет технической производительности сменных исполнительных органов проходческого комплекса; 12, 13, 14 – расчет времени обработки забоя за i-й цикл при использовании сменных исполнительных органов комплекса; 15 – проверка на соответствие подвигания забоя за цикл; 16 – проверка на наличие совмещенных операций при проведении выработки малого сечения; 17, 18 – расчет времени обработки забоя за i-й цикл с учетом времени на замену исполнительного органа; 19 – расчет времени цикла шагания механизированной крепи; 20, 21 – расчет времени крепления сбойки; 22, 24 – расчет суммарного времени i-го цикла; 25 – расчет скорости проходки за i-й цикл; 26 – проверка на соответствие полного выполнения всех циклов проходки при проведении выработок малого сечения; 27 – увеличение на i-й цикл проходки; 28 – расчет окончательного времени проведения выработки малого сечения.

Рисунок 4 – Алгоритм функционирования проходческого комплекса при проходке выработки малого сечения