

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УКРАИНСКОЙ ССР**

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

Г. Г. ЛИТВИНСКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ
КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК МОНОЛИТНЫМ БЕТОНОМ**

Специальность № 313 «Шахтное строительство»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

ДОНЕЦК - 1968

Работа выполнена в Донецком научно-исследовательском угольном институте.

Научный руководитель — докт. техн. наук Ю. З. Заславский.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Докт. техн. наук *М. Н. Гелескул* (ИГД им. акад. А.А. Скочинского, г. Москва).

Канд. техн. наук, доцент *В. В. Орлов* (ДПИ, г. Донецк)

Ведущее предприятие — трест «Донецкшахтострой».

Автореферат разослан 22.04.1968 г.

Защита диссертации состоится 21.05.1968 г.

на заседании Совета Донецкого политехнического института Донецк-66, ул. Артема,
58, ДПИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Ученый секретарь ДПИ

доц. С. Ф. ТРАВНИК.

В В Е Д Е Н И Е

Выполнение задач по развитию народного хозяйства, предусмотренных в решениях XXIII съезда КПСС, неразрывно связано с освоением новых богатств рудных и угольных месторождений.

Добыча угля в СССР к 1980 г. достигнет 1180—1200 млн. т в год; в несколько раз увеличится добыча железной руды и руд цветных металлов. В связи с этим в ближайшие годы предстоит построить большое количество новых горнодобывающих предприятий и в сокращенные сроки реконструировать действующие. Это потребует при строительстве шахт и рудников широкого внедрения комплексной механизации и новой, более совершенной технологии, обеспечивающей значительный рост производительности труда.

Развитие угольной и горнорудной промышленности требует постоянного увеличения объемов работ по сооружению капитальных горных выработок. Эти выработки являются наиболее ответственными в комплексе подземных сооружений шахт и рудников и поддержание их в рабочем состоянии связано с большими расходами по креплению, составляющими 25—50% всей стоимости выработки.

Рациональная конструкция крепи, отвечающая условиям, в которых ей приходится работать, и передовая технология ее возведения с привлечением современных средств механизации позволят уменьшить первоначальные затраты и сократить сроки строительства шахты.

В настоящее время большое число горных выработок околоствольных дворов угольных и рудных шахт крепятся монолитным бетоном. Процесс крепления этим материалом является технологичным и легко поддается механизации, а монолитная бетонная крепь обладает достаточной работоспособностью и экономичностью для того, чтобы эффективно поддерживать выработку в пригодном для эксплуатации состоянии.

Однако в угольной промышленности до сих пор бетонная крепь возводится довольно примитивным образом: бетонная смесь доставляется в шахту в вагонетках-бетоновозах и укладывается вручную, в большинстве случаев за деревянную опалубку. Для крепления выработок чаще всего применяют бетон низких марок—М100 и М150.

Настоящая работа посвящена вопросам технологии и механизации возведения монолитной бетонной крепи, а также- повышению ее работоспособности.

* * *

*

В диссертационной работе приводятся результаты исследований, выполненных автором в течение 1962—1967 гг. в лаборатории крепления капитальных горных выработок ДонУГИ. Экспериментальная часть диссертации проводилась на шахтах-новостройках

трестов «Донецкшахтострой» и «Донецкшахтопроходка». Расчеты на ЭЦВМ выполнены в отделе вычислительной техники ДонУГИ.

Диссертация состоит из пяти глав, содержащих 132 страницы машинописного текста и 47 рисунков, списка использованной литературы из 104 наименований и четырех приложений.

ГЛАВА I.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе приведен краткий обзор и анализ работ, посвященных исследованиям технологии и организации бетонных работ в подземных условиях, эффективности крепления капитальных выработок монолитным бетоном, а также механизации возведения монолитной бетонной крепи с помощью пневмобетонукладчиков и бетононасосов.

Проведенный анализ показал, что монолитная бетонная крепь обладает достаточной работоспособностью и относительно невысокой стоимостью. Такая крепь технологична при возведении и легко поддается механизации. Эти достоинства обеспечили монолитному бетону широкое распространение в практике крепления капитальных горных выработок.

Технология крепления выработок монолитным бетоном включает в себя приготовление бетонной смеси, транспортирование на поверхности от места приготовления до ствола шахты; спуск ее по стволу до необходимого горизонта; доставку бетонной смеси по горизонтальной выработке и укладку ее за опалубку.

Работоспособность и технико-экономические достоинства той или иной технологической схемы крепления зависят от механизации наиболее трудоемкой операции — транспортирования и укладки бетонной смеси за опалубку. Для этого могут применяться бетононасосы или пневмобетонукладчики, области применения которых исследованы в работах Г. М. Вайнштейна, Б.Н. Зайцева, В.М. Мосткова и других. Однако пневмобетонукладчики и бетононасосы до сих пор еще не нашли широкого распространения в угольной промышленности СССР.

Вопросы организации работ по приготовлению бетонной смеси и выбора технологических схем крепления выработок монолитным бетоном исследованы еще не полностью. Существующие конструкции пневмобетонукладчиков и методы их расчета нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Не используются большие резервы работоспособности монолитной крепи, связанные с переходом к высокомарочному бетону.

В связи с этим задачами настоящего исследования являлись разработка вопросов оптимальной технологии возведения монолитной бетонной крепи, создание средств

механизации транспортирования и укладки бетонной смеси, а также повышение экономической эффективности и работоспособности крепи.

Для решения этих вопросов были использованы аналитические и лабораторные методы исследований, а также стендовые и промышленные испытания в производственных условиях.

ГЛАВА II.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ КРЕПЛЕНИЯ

Нормальное функционирование всей технологической схемы крепления горных выработок предопределяется во многом начальным ее звеном — бетонно-растворным узлом.

Научно обоснованная организация работ на бетонно-растворном узле (БРУ) позволяет свести к минимуму расходы по приготовлению бетонной смеси и обеспечить бесперебойное снабжение потребителей. Определение оптимальных параметров бетонно-растворного узла производилось с привлечением теории массового обслуживания. За наиболее оптимальный вариант организации работ на бетонно-растворном узле было принято осуществление условия минимума суммарных затрат простоев бетономешалок и обслуживаемых объектов.

Во многих конкретных случаях входящий поток требований подчиняется закону Пуассона, а плотность распределения времени обслуживания одного требования убывает с возрастанием аргумента t по экспоненциальному закону. При использовании таких законов распределения были найдены количественные оценки показателей эффективности работы двух типов бетонно-растворных узлов — районного и приобъектного. В табл. 1, где приведены эти показатели, использованы следующие условные обозначения:

n — число бетономешалок;

λ — плотность входящего потока требований (заявок), равная математическому ожиданию числа требований в единицу времени, $1/с$;

ν — величина, обратная среднему времени обслуживания одного требования, $1/с$;

m — предельно возможное число требований, которое может находиться в обслуживающей системе одновременно;

P_k — вероятность того, что на БРУ находится ровно K требований;

A — средняя длина очереди;

B — среднее число свободных бетономешалок;

C — среднее число требований, находящихся на бетонно-растворном узле.

Таблица 1

№№ п-п	Показатели эффективности работы БРУ	БРУ с ограниченным потоком требований (приобъектный БРУ)	БРУ с неограниченным потоком требований (районный БРУ)
1	Вероятность того, что все бетономешалки свободны	$P_0 = \left\{ \sum_{k=0}^n \frac{m!}{k!(m-k)!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k \right\}^{-1}$	$P_0 = \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k + \frac{\nu}{(n-1)!(n\nu - \lambda)} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^n \right\}^{-1}$
2	Вероятность того что занято k бетономешалок при условии $1 \leq k \leq n$	$P_k = \frac{m!}{k!(m-k)!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k P_0$	$P_k = \frac{1}{k!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k P_0$
3	Вероятность того, что на БРУ находится k требований при условии $k \geq n$	$P_k = \frac{m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k P_0$ $n \leq k \leq m$	$P_k = \frac{1}{n! n^{k-n}} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k P_0$
4	Средняя длина очереди	$A = \sum_{k=n+1}^m (k-n) P_k$	$A = \frac{P_n \lambda}{n\nu \left[1 - \frac{\lambda}{n\nu} \right]^2}$
5	Среднее число свободных бетономешалок	$B = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) P_k$	$B = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k P_0$
6	Среднее число требований, находящихся на БРУ	$C = \sum_{k=1}^n k P_k$	$C = A + \frac{n P_n}{1 - \frac{\lambda}{\nu}} + P_0 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{(k-1)!} \left[\frac{\lambda}{\nu} \right]^k$

Исходя из этого, дается методика определения экономически оптимальных параметров бетонно-растворных узлов.

Стоимость монолитной бетонной крепи в значительной степени зависит от выбранной технологической схемы крепления, где наиболее трудоемкими процессами являются доставка бетонной смеси и укладка ее за опалубку.

Известны исследования Д. И. Малиованова, И. С. Стоева, института ВНИИОМШС и др. по выбору технологических схем крепления вертикальных стволов и горизонтальных выработок. Эти исследования дали ряд конкретных рекомендаций и были использованы в нашей работе при составлении методики, согласно которой, в отличие от ранее проведенных исследований, сравнение различных технологических вариантов проводилось при изменении большинства параметров (длины доставки, емкости вагонетки, глубины ствола, объема бетонных работ и др.).

В главе рассмотрены варианты транспортирования бетонной смеси:

на поверхности — в автобетоновозах, в вагонетках или по трубопроводу с помощью пневмобетонукладчиков;

по стволу — в вагонетках (или пневмобетонукладчиках) в клетях или по вертикальному бетонопроводу;

по горизонтальной выработке — в вагонетках-бетоновозах, поездом пневмобетонукладчиков или по бетонопроводу с помощью пневмобетонукладчиков;

укладка бетона за опалубку — вручную или с помощью пневмобетонукладчика.

Для определения оптимальной технологической схемы были составлены экономико-математические модели всех возможных вариантов транспортных операций на поверхности, в стволе и в горизонтальной выработке в зависимости от главных влияющих факторов (длины транспортировки, объемов работ, глубины ствола и пр.). Для решения задачи по определению стоимости всех возможных вариантов использовалась ЭЦВМ. Оптимальная технологическая схема определялась из условий минимальных затрат на транспортирование 1 м^3 бетонной смеси.

В результате выполненного исследования были определены целесообразные области применения различных технологических схем транспортирования бетонной смеси. Так, на поверхности, когда расстояние транспортирования не превышает 500—600 м, выгодно применять пневмобетонукладчики, причем с ростом объема бетонных работ область их применения несколько увеличивается. При транспортировании бетонной смеси на расстояние от 600 до 2000 м целесообразно применять примерно равноценные варианты: поезд из пневмобетонукладчиков, вагонетки-бетоновозы или автосамосвалы. При расстоянии свыше 2000 м бетонную смесь выгоднее транспортировать в автосамосвалах. С

увеличением емкости вагонеток область их применения увеличивается незначительно.

При спуске бетонной смеси по стволу, когда объем бетонных работ превышает 6000 м³, следует применять вертикальный бетонопровод. Область применения вагонеток зависит от их емкости, однако в большинстве случаев оказывается предпочтительнее спуск бетонной смеси по трубам.

При транспортировании бетонной смеси по горизонтальной выработке с последующей укладкой за опалубку процесс доставки смеси в вагонетках является самым дорогим из-за ручной перегрузки смеси. При длине подземной доставки свыше 1000—1200 м выгоднее применять поезд пневмобетонукладчиков, использование последовательно расположенных пневмобетонукладчиков целесообразно при дальности транспортирования до 600-1200 м.

В результате исследования было определено оптимальное расстояние, через которое следует переносить пневмобетонукладчик в зависимости от интенсивности бетонных работ, а также расстояние между последовательно расположенными бетоноукладчиками.

Выбор оптимальной технологической схемы крепления обеспечивает минимальные затраты на транспортирование и укладку бетонной смеси за опалубку, ускоряет процесс возведения монолитной бетонной крепи и сводит к минимуму непроизводительные затраты времени.

ГЛАВА III.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И УКЛАДКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Работами Г. М. Вайнштейна, И. Д. Джанджгавы, В. М. Мосткова, Л.Е. Подборского и других исследователей была доказана целесообразность возведения крепи с помощью пневмобетонукладчиков. Однако, несмотря на большое количество предложенных конструкций, в отечественной практике только немногие оказались работоспособными.

Большинство исследований, посвященных вопросам транспортирования бетонной смеси по трубопроводу, относятся к бетононасосам (работы С. Н. Алексеева, В. М. Васильева, Я. И. Маренного и др.). Следует признать, что вопросы оптимальных режимов работы пневмобетонукладчиков и соотношение между их конструктивными и технологическими параметрами исследованы недостаточно.

Проблема теоретического и экспериментального исследования механизма движения бетонной массы по трубам сводится, по существу, к определению сил сопротивления ее движению и основных влияющих на них факторов.

Механическое движение бетонной смеси под действием сжатого воздуха с помощью

пневмобетоноукладчика (ПБУ) представляет собой совокупность большого числа разнообразных явлений аэро- и гидродинамики, которые трудно рассматривать с позиций единой теории. Поэтому при получении решения задачи движения бетонной смеси в трубопроводе была принята следующая методика: используя несколько идеализированную схему процесса, находилась структура формулы, достаточно полно отражающая картину явления. Полученные зависимости корректировались коэффициентами, найденными из эксперимента.

Качественную картину процесса движения бетонной смеси можно представить следующим образом.

Под действием давления воздуха смесь из ПБУ выдавливается в бетоновод, причем протекание этого процесса во многом зависит от геометрической формы ПБУ. При движении бетонная смесь сперва преодолевает начальное сопротивление сдвигу, а затем и гидравлическое сопротивление, обусловленное силами вязкости. По мере увеличения скорости бетонной смеси гидравлическое сопротивление трубопровода возрастает. До тех пор, пока не установится равномерное движение бетонной массы, к силам сопротивления прибавляются силы инерции, которые, к тому же, играют значительную роль в преодолении местных сопротивлений. Затем действующие на бетонную смесь силы уравниваются и ее движение становится равномерным.

Бетонная смесь представляет собой структурную неньютоновскую жидкость, имеющую начальное сопротивление сдвигу и в общем, виде описывающуюся уравнением Шведова—Бингама.

Исходя из общих представлений о движении структурной жидкости, было составлено дифференциальное уравнение ее движения, имеющее вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{8\nu}{R^2} \frac{dx}{dt} = \frac{P}{1\rho} - \frac{8}{3} \frac{\tau_0}{R_p} - g \sin \alpha, \quad (1)$$

где: x — текущая координата, м;

$\frac{dx}{dt}$ — средне-интегральная скорость по сечению трубы, м/с;

ν — кинематический коэффициент вязкости смеси, м²/с;

R — радиус трубопровода, м;

P — давление сжатого воздуха на бетонную смесь, Па;

l — длина порции бетонной смеси, м;

τ_0 — начальное напряжение сдвига, Па;

ρ — плотность бетонной смеси, кг/м³;

g — ускорение силы тяжести, м/с²;

α — угол подъема трубы относительно горизонта, град..

В расчетную схему были внесены следующие упрощения: гравитационные силы (т. е. вес самой порции), действующие нормально к поверхности трубы, не учитывались; скорость движения смеси принималась средне-интегральной по сечению; сопротивлением воздуха движению смеси пренебрегалось, а его исходное давление на смесь было принято постоянным.

Полученное выражение (1) является однородным линейным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами и начальными условиями: при $t=0$, $x=0$ и скорость $\frac{dx}{dt} = 0$. После интегрирования этого уравнения получены выражения координаты, скорости и ускорения порции бетонной смеси в трубопроводе:

$$\begin{aligned}x &= \frac{B}{A}t - \frac{B}{A^2}(1 - e^{-At}), \\U &= \frac{B}{A}(1 - e^{-At}), \\W &= Be^{-At},\end{aligned}\tag{2}$$

где: $B = \frac{P}{l\rho} - \frac{8}{3} \frac{\tau_0}{R\rho} - g \sin \alpha$ - ускорение при $t=0$, м/с^2 ;

$A = \frac{8\nu}{R^2}$ — параметр вязкого сопротивления движению бетонной смеси в трубе, $1/\text{с}$.

Расход бетонной смеси определится из выражения:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\nu} B (1 - e^{-At}).\tag{3}$$

Анализируя полученные выражения (2) и (3), можно заключить, что все искомые величины являются функциями экспоненты, которая отражает нестационарный характер протекающего процесса.

Чтобы полученное решение можно было использовать для практических расчетов, необходимо знать входящие в него характеристики бетонной смеси: параметр вязкости A и начальное сопротивление сдвигу τ_0 .

Эти величины определялись экспериментально на специальной стендовой установке, представлявшей собой трубу, внутри которой двигалась порция бетонной смеси под действием сжатого воздуха. Давление и скорость движения в процессе эксперимента

записывались на осциллограф. Для этого был разработан импульсный контактор и манометр для преобразования скорости движения бетонной смеси и давления воздуха в электрические сигналы. В результате исследований были получены количественные значения параметров бетонной смеси A и τ_0 , что позволило определить конструктивные параметры пневмобетонукладчика, работающего в оптимальном режиме.

Существующие конструкции пневмобетонукладчиков имеют относительно невысокую производительность и большую энергоемкость. Это объясняется замедленной разгрузкой камеры, сопровождающейся прорывами сжатого воздуха впереди бетонной порции. В результате бетонная смесь движется не за счет статического давления сжатого воздуха, а в режиме витания. Как показали исследования, скорость смеси при таком режиме невысокая (0,5 – 1,0 м/с), время движения по бетонопроводу увеличивается, а расход воздуха значительно возрастает. Это ведет к снижению производительности ПБУ, образованию в бетонопроводе подстилающего придонного слоя, уменьшающего сечение трубы и вызывающего частые закупорки труб.

В результате проведенных исследований удалось разработать конструкцию пневмобетонукладчика, реализующую оптимальный режим транспортировки бетонной смеси и обеспечивающую устранение отмеченных недостатков.

На основании анализа опыта работы существующих пневмобетонукладчиков и проведенных лабораторных исследований было установлено, что оптимальным режимом при пневмотранспорте бетонной массы является ее движение по бетонопроводу в виде единой порции.

Оптимальный режим работы конструкции был достигнут соответствующим расположением трубопроводов сжатого воздуха и целесообразным очертанием выгрузочной части сосуда, выполненной в форме плавно сужающегося и постепенно переходящего в бетонопровод наклонного конфузора (рис. 1).

Конструкция пневмобетонукладчика была вначале исследована на модели. В этих исследованиях разработанный пневмобетонукладчик сравнивался с существующей конструкцией, принятой за базовую и имеющую те же габаритные размеры и вес.

Результаты испытаний моделей с масштабом геометрического подобия 1:3 показали преимущества нового пневмобетонукладчика по сравнению с существующими и позволили перейти к изготовлению конструкций натуральных размеров, что и было выполнено на экспериментальном заводе ДонУГИ. Новый пневмобетонукладчик проходил промышленные испытания на строительстве шахты «Октябрьский рудник» в Донбассе.

Промышленные испытания позволили установить, что режим работы пневмобетонукладчика соответствовал расчетному, работал он бесперебойно и

транспортировал без закупорки бетонопровода бетонные смеси с осадкой конуса более 6 см.

Пневмобетоноукладчик успешно прошел промышленные испытания и имел более высокие технико-экономические показатели, чем существующая конструкция, принятая за базовую, при таких же габаритах и весе. Так, его производительность оказалась в 3,6 раза выше, а расход воздуха в 6 раз ниже. Ожидаемая экономия от применения разработанного пневмобетоноукладчика составляет 16 тыс. руб. в год на одну конструкцию.

Глава IV

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ

До настоящего времени для повышения несущей способности монолитной крепи увеличивают ее толщину, что ведет к удорожанию конструкции и ухудшению условий ее работы с учетом пассивного отпора пород. Последнее объясняется тем, что значительная толщина крепи приводит к резкому возрастанию ее жесткости и снижению деформативности. Такие крепи плохо перераспределяют усилия на окружающие боковые породы, не включаются в работу по созданию бокового отпора, и уменьшают тем самым эффективность использования материала в конструкции. Между тем, существенного увеличения несущей способности крепи можно достигнуть применением более высоких марок бетона.

В работе была исследована эффективность применения бетона различных марок. При этом крепь оценивалась по критерию оптимальности, выразившемуся в виде отношения стоимости крепи по материалам к ее предельной несущей способности.

Определение несущей способности монолитной крепи с учетом бокового отпора вмещающих выработку пород представляет собой существенно нелинейную задачу, решение которой связано с известными вычислительными трудностями.

Практически все расчеты крепей по допускаемым напряжениям сводятся к нахождению максимальных растягивающих и сжимающих напряжений в конструкции, которые определяют опасные сечения. Трудоемкий процесс отыскания эпюр пассивного отпора, изгибающих моментов и нормальных сил необходим только для расчета эпюры напряжений на внутреннем и внешнем контурах крепи. Из этой эпюры проектировщика, как правило, интересуют только максимальные значения внутренних усилий.

Расчет грузонесущей способности крепи с учетом пассивного отпора пород весьма сложен. В работе на основе метода Метропроекта с помощью теории размерностей и ЭЦВМ

была разработана упрощенная расчетная методика определения максимальных сжимающих и растягивающих напряжений в крепи. Пользуясь этой методикой, можно оценить монолитную крепь по допускаемым напряжениям, минуя все сложные и трудоемкие расчеты эпюр пассивного отпора породы, изгибающих моментов и нормальных усилий в конструкции.

Инструментальными наблюдениями ДонУГИ, ВНИМИ, ИГД им. А. А. Скочинского, ДГИ, ДПИ и др. институтов за проявлением горного давления в шахтах установлено, что основное направление нагрузки на крепь совпадает с нормалью к плоскости напластования пород. Таким образом, в худшем случае крепь будет испытывать сосредоточенную нагрузку, приложенную к одной точке или к небольшому участку внешнего контура ее поперечного сечения. В более общем случае усилия, действующие на крепь, можно в первом приближении аппроксимировать равномерно распределенной нагрузкой.

Создание равномерной эпюры давления на крепь заметно улучшает условия работы крепи и, как показали исследования, этому в значительной мере способствует забутовка закрепного пространства.

Так, при действии на крепь вертикальной сосредоточенной силы P для максимальных сжимающих и растягивающих напряжений рекомендуются формулы:

$$\begin{aligned}\sigma_p &= 0,5 \frac{P}{rb_0} \left(0,35 \frac{E}{Kb_0} + 0,5 \frac{rE}{\delta Kb_0} + 13,5 \frac{r}{\delta} - 28 \right) \\ \sigma_{сж} &= 0,5 \frac{P}{rb_0} \left(0,15 \frac{E}{Kb_0} + 0,05 \frac{rE}{\delta Kb_0} + 17,5 \frac{r}{\delta} - 45 \right)\end{aligned}\quad (4)$$

где: r — радиус крепи, см;

b_0 — ширина участка крепи, равная 100 см;

E — модуль «упругости материала крепи, кг/см²;

K — коэффициент постели окружающих пород, кг/см³;

δ — толщина крепи, см.

При нагружении крепи равномерно-распределенной нагрузкой q (вертикальной) и αq (с боков) для определения максимальных сжимающих и растягивающих напряжений получены формулы:

а) для $\alpha=0$

$$\sigma_p = 0,5q \left(0,205 \frac{E}{Kb_0} + \frac{1}{0,6216 \frac{\delta}{r} + 0,01} \right)\quad (5)$$

$$\sigma_{сж} = -0,5q \left(\frac{1}{18,7 \frac{\delta}{r} + 2,1} \frac{E}{Kb_0} + \frac{6r}{\delta} \right)$$

б) для $\alpha=0,5$

$$\sigma_p = 0,5q \left(0,13 \frac{E}{Kb_0} + \frac{1,2}{\frac{\delta}{r} - 0,01} \right) \quad (6)$$

$$\sigma_{сж} = -0,5q \left(0,1 \frac{E}{Kb_0} + \frac{2}{\frac{\delta}{r} - 0,007} \right)$$

Упрощенная методика разрабатывалась, в основном, как инструмент для исследования экономической эффективности крепления выработок бетоном различных марок. С ее помощью определялась несущая способность монолитной крепи с учетом отпора пород по первому предельному состоянию конструкции, т. е. по образованию трещин в верхней точке свода (по оси симметрии нагрузки преобладающей интенсивности). С помощью ЭЦВМ были произведены расчеты монолитной бетонной крепи для разных видов нагрузок.

Результаты этого исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Марка бетона	Увеличение несущей способности крепи в % от несущей способности крепи из бетона М100 для разных значений коэффициента постели пород К.			
	К=50 кг/см ³	К=100 кг/см ³	К=200 кг/см ³	К≥400 кг/см ³
М 100	100	100	100	100
М 150	118	122	125	127
М 200	135	143	150	155
М 300	185	200	212	220
М 400	210	230	245	255

Таким образом, увеличение марки бетона дает значительное (до 2-2,5 раз) повышение несущей способности крепи. Относительное увеличение несущей способности крепи не зависит от принятого варианта приложения активной нагрузки, хотя абсолютная величина несущей способности крепи зависит от способа нагружения крепи и притом весьма

существенно).

Применение бетона высоких марок, как видно из табл. 2, становится более выгодным с увеличением коэффициента постели.

В результате исследования установлено, что наибольший экономический эффект следует ожидать при переходе от бетона марки М100 к бетону марки от М200 до М400. Дальнейшее повышение марки бетона также снижает стоимость монолитной крепи, но в меньшей степени.

Поэтому на первом этапе следует рекомендовать повсеместный переход от бетона марки 100—150 к марке 200—300. Это, при неизменной несущей способности крепи, позволит уменьшить толщину конструкции на 25÷40% и удешевит ее стоимость по материалам на 15÷30%, что, в свою очередь, снизит стоимость сооружения выработки в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе рассмотрены некоторые вопросы крепления капитальных горных выработок монолитным бетоном: организация приготовления бетонной смеси, технологические схемы транспортирования бетонной массы от места приготовления до места укладки механизация возведения монолитной крепи с помощью пневмобетонукладчиков, расчет и оптимизация их конструкции и режима работы, пути и способы повышения работоспособности монолитной крепи.

В результате проведенных исследований:

1. Установлены оптимальные области применения различных технологических схем транспортирования бетонных смесей на поверхности, по вертикальному стволу и в горизонтальной выработке.

2. На базе теории массового обслуживания предложена методика проектирования районных и пришахтных бетонно-растворных узлов.

3. Разработана методика расчета пневмобетонукладчика и его новая конструкция, работающая в оптимальном режиме. Предложенный пневмобетонукладчик имеет производительность в 3,6 раза выше, а расход воздуха в 6 раз ниже по сравнению с существующей типовой конструкцией при тех же габаритных размерах и весе. Его ожидаемая экономическая эффективность составляет 16 тыс. рублей экономии в год на одну конструкцию. Новый пневмобетонукладчик успешно применяется при механизации бетонных работ на шахтах Донбасса.

4. На основе метода Метропроекта и теории размерностей разработана упрощенная методика статического расчета монолитной крепи с учетом отпора вмещающих пород.

5. Определена экономическая эффективность крепления капитальных выработок

бетоном различных марок. На первом этапе следует рекомендовать повсеместный переход от бетона марки М100÷150 к бетону М200÷300. Это позволит уменьшить толщину крепи на 25÷40% и стоимость по материалам на 15÷30% при неизменной несущей способности конструкции.

6. На основании проведенных исследований разработаны «Описание и временная инструкция по эксплуатации пневмобетонукладчика ДонУГИ», ДонУГИ, Донецк, 1967 г.

Основные материалы и положения диссертации были доложены на заседании кафедры промышленных месторождений, строительства и реконструкции горных предприятий Новочеркасского политехнического института (г. Шахты, 1967 г.); на техническом совещании отдела механизации крепления горных выработок и лабораторий механизации крепления вертикальных стволов и горизонтальных выработок института «ЦНИИПодземшахтострой» (г. Москва, 1967 г.); на заседании лабораторного совета отдела туннельных работ НИС института «Оргэнергострой» (г. Москва, 1967 г.); на конференции по инженерно-физическим проблемам разработки месторождений полезных ископаемых в Ленинградском горном институте им. Г. В. Плеханова (г. Ленинград, 1966 г.); на республиканском межвузовском научно-техническом совещании по охране подготовительных выработок на шахтах Донецкого бассейна (г. Коммунарск, 1966 г.); на техническом совещании треста Донецкшахтострой, (г. Донецк, 1967 г.), на заседании ученого совета Донецкого научно-исследовательского угольного института (г. Донецк, 1967 г.) и др.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Целесообразные области применения различных средств доставки бетонной смеси в шахту. «Проектирование и строительство угольных предприятий», № 2 (86). 1966.

2. Организация приготовления бетонной смеси на бетонно-растворных узлах с помощью методов теории массового обслуживания. Тезисы докладов II научно-технической конференции молодых ученых по проблемам угольной промышленности. Донецк, 1966.

3. Сборные железобетонные и монолитные бетонные крепи в горизонтальных выработках глубоких шахт (совместно с Ю. З. Заславским и Е. Т. Проявкиным). «Уголь Украины» № 12, 1966.

4. Экспериментальные исследования процесса транспортирования бетонной смеси по трубам сжатым воздухом. Тезисы докладов II научно-технической конференции молодых ученых по проблемам угольной промышленности, Донецк, 1966.

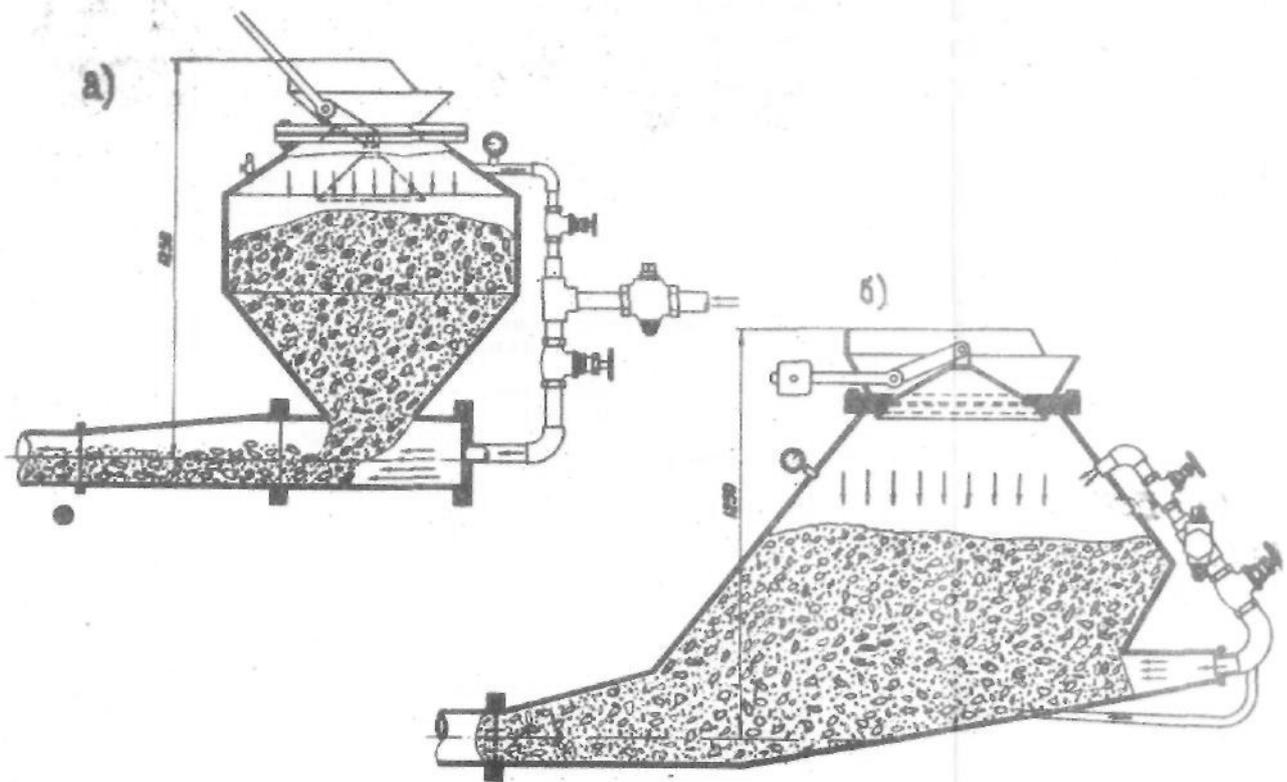
5. Перспективы использования монолитных крепей и исследование повышения их эффективности при переходе к высокомарочным бетонам в капитальных горных выработках (совместно с Ю. З. Заславским). Республиканское межвузовское научно-техническое сове-

щание по охране подготовительных выработок на шахтах Донецкого бассейна. Тезисы докладов и сообщений, г. Коммунарск, 1966.

6. Исследование процесса пневмотранспортирования бетонной смеси по трубопроводу. «Проектирование и строительство угольных предприятий» № 3 (111), 1968.

7. Исследование влияния забутовки на формирование величины и распределение нагрузки на крепь. «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых» № 3, 1967.

8. Экономическая эффективность повышения марки бетона при креплении горных выработок (совместно с Ю. З. Заславским) «Шахтное строительство» .№9 10, 1967.



**Рис. 1. Схема работы пневмобетонукладчика.
а - типовой конструкции, б- ПБУ ДонУГИ.**