

6
A55

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. АРТЕМА

На правах рукописи

Аспирант ГРЕБЕНЮК В.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ОСНОВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ СТРУЙНОГО КАМЕРНОГО ПИТАТЕЛЯ
ДЛЯ ГИДРОТРАНСПОРТА

05.174. Рудничный транспорт

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. АРТЕМА

На правах рукописи

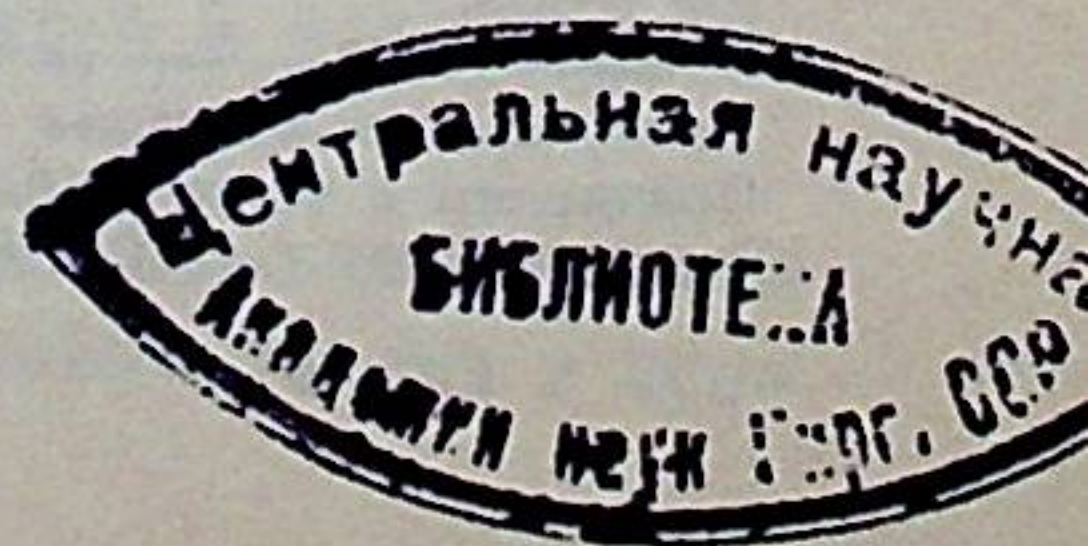
Аспирант ГРЕБЕНЮК В.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ОСНОВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ СТРУЙНОГО КАМЕРНОГО ПИТАТЕЛЯ
ДЛЯ ГИДРОТРАНСПОРТА

05.174. Рудничный транспорт

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1971



Работа выполнена в институте Днепрогипрошахт (г. Днепропетровск), промышленные эксперименты проведены на шахте № 5-13 Тощковка комбината Кадиевуголь.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Б.А.КУЗНЕЦОВ.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук В.В.ТРАЙНИС

кандидат технических наук А.И.МАНЕВИЧ

Ведущее предприятие - комбинат Кадиевуголь.

Автореферат разослан

1971 г.

Защита диссертации состоится

1971 г.

на заседании Совета механико-машиностроительного факультета Днепропетровского горного института им. Артема.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направить по адресу: г. Днепропетровск, 14, пр. К. Маркса, 19, горный институт.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

доктор технических наук,
профессор

В.А. БУНЬКО

БТ 21820

Печатно-множительная лаборатория института Днепрогипрошахт
Подписано к печати 18/Ш-71 г. Отпечатано 24/Ш-71 г.
Заказ № 886. Тираж 150 экз.

В В Е Д Е Н И Е

В свете задач, поставленных в программе КПСС перед работниками горнодобывающей промышленности, одним из наиболее важных вопросов технического прогресса является дальнейшее совершенствование транспортных и подъемных устройств.

Применение высоконапорного гидравлического транспорта и подъема большой производительности для перемещения полезного ископаемого, породы и закладочных материалов дает возможность значительно повысить эффективность, безопасность и культуру труда.

Питатели в системах гидротранспорта позволяют загружать материал, минуя насосы, непосредственно в напорный трубопровод. При этом достигается наибольший эффект благодаря применению обычных насосов, так как специальные для пульпы имеют неустраняемые недостатки - относительно низкий напор и к.п.д., малый срок службы и др.

Несмотря на разнообразие предложенных конструкций, в настоящее время имеется всего несколько промышленных образцов питателей как в нашей стране, так и за рубежом. Это, в основном, шлюзовые аппараты камерного типа. Однако они имеют ограничения по производительности, напору, плотности и гранулометрическому составу транспортируемого материала.

Инженером И.Н. Сурдутовичем и автором предложен струйный питатель камерного типа (ПСГ) с обширной областью применения.

Настоящая диссертация посвящена исследованию рабочего процесса и разработке конструктивного исполнения рабочих органов струйного питателя, определению его оптимальных параметров, а также исследованию предложенной автором новой конструкции высокопрочной оболочки для камер питателя.

Результаты исследований приведены к виду, позволяющему конструкторам использовать их при проектировании струйных питателей.

Первый промышленный образец питателя ПСГ эксплуатируется в установке гидротранспорта породы в отвал на шахте № 5-13 Тощковка (Донбасс).

Диссертация содержит 135 страниц машинописного текста, 69 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 82 наименований и состоит из 5 глав с введением и заключением.

Основные направления последних лет в создании загрузочных аппаратов - это камерные питатели. Усилия конструкторов направлены на изыскание способов расширения области их применения по производительности, напору и транспортируемым материалам.

Существенным для камерных питателей является продолжительность рабочего цикла, от которой зависит емкость камер. В этом отношении определилось два направления: кратковременный цикл, измеряющийся секундами, и длительный, - минутами.

Достоинство аппаратов первого направления - малая емкость камер, недостатки - сложная система управления, невозможность перекачки пульпы, ограничения производительности. Для интенсивной выгрузки материала не удается в полной мере использовать гидродинамическую силу потока, так как невозможно без гидравлических ударов в системе преодолеть инерцию материала в камере за те доли секунды, которые отводятся в цикле для формирования процесса выгрузки. Применение механических побудителей пока не обеспечивает желаемых результатов. Поиски в этом направлении продолжаются, так как компактные питатели найдут широкое применение.

В аппаратах второго направления отводится достаточно времени на вспомогательные операции цикла и формирование рабочего процесса. Это обеспечивает надежную работу затворов и не ограничивает в принципе производительность, благодаря возможности применения любых побудителей движения материала. Из их числа наибольшие преимущества имеет поток воды - его энергия может быть использована без преобразования и механических движителей.

В Донецком политехническом институте еще в конце тридцатых годов успешно экспериментировали вымыв материала с помощью наклонного струйного дозатора. Однако аппарат на этой основе не был создан.

В разработанном И.Н.Сурдутовичем и автором питателе с длительным рабочим циклом для выгрузки материала использована гидродинамическая сила потока воды. В период разгрузки через камеру подается нисходящий поток всей транспортной воды по центральной трубе (рис.1). В нижней ее части имеется вертикальный дозатор,

струя из которого увлекает материал в пульпопровод. Дозатор может телескопически перемещаться, что обеспечивает плавную силовую нагрузку, принудительный и регулируемый вымыв материала.

Опытно-промышленная эксплуатация струйного питателя в установке гидротранспорта шахты № 5-13 Ташковка показала его работоспособность по вымыву рядовых шахтных материалов - породы и угля, возможность достижения большой производительности и регулировки в широком диапазоне консистенции пульпы.

Для широкого применения питателя выявилась необходимость более глубокого изучения рабочего процесса с целью разработки методов его стабилизации, определения оптимального значения основных параметров и изыскание конструкции прочной оболочки для камер.

За период работ над созданием питателей проведено большое количество исследований, некоторые из которых применимы для всех видов камерных питателей.

А.Г.Фролов, З.М.Меломед, Л.Д.Борисенко, Е.К.Решетнев разработали технические условия, предъявляемые к камерным питателям - руководство, обобщающее опыт эксплуатации и исследований.

В.Г.Гейер, В.И.Груба, А.А.Акрамов создали теоретические основы моделирования, благодаря чему возможно глубокое экспериментальное исследование рабочего процесса на моделях.

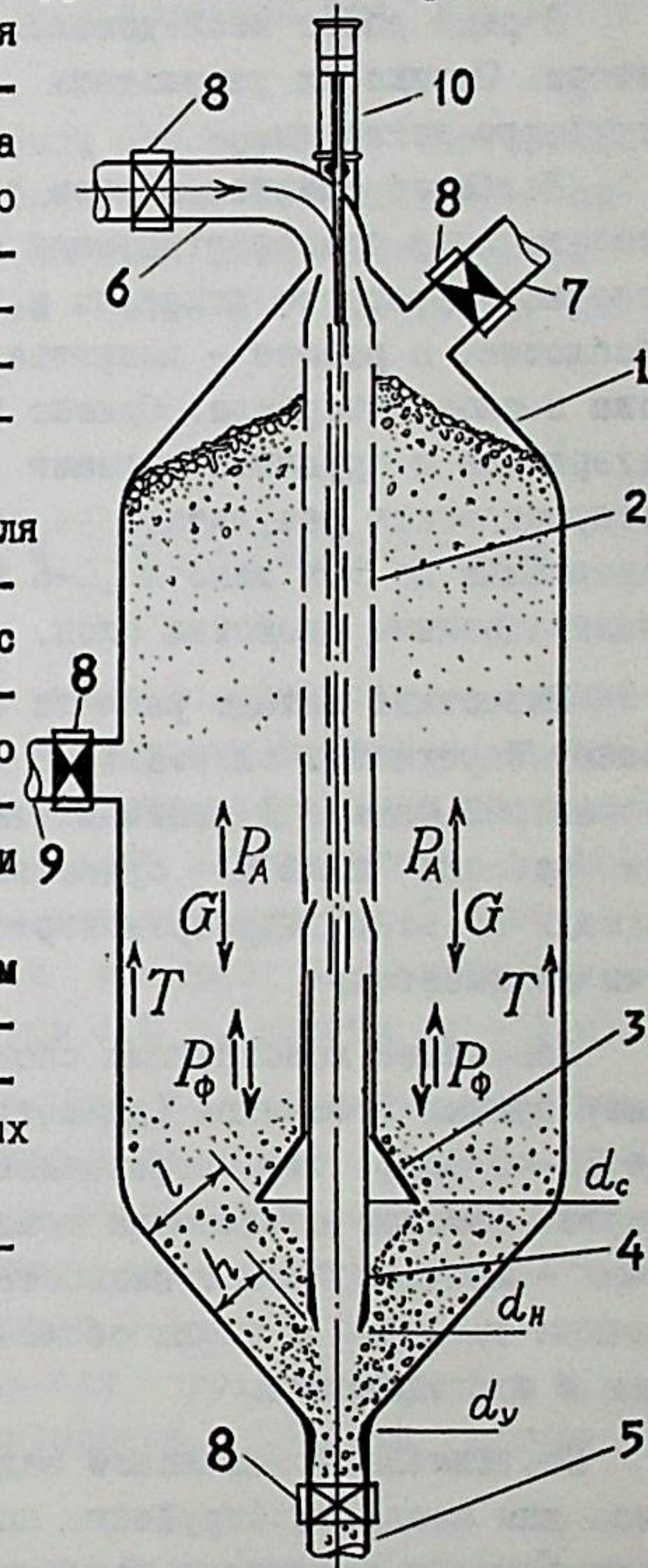


Рис.1. Камера струйного питателя:

1-оболочка камеры, 2-центральная труба, 3-стабилизатор, 4-дозатор, 5-пульпопровод, 6-напорный водовод, 7-загрузочный трубопровод, 8-затвор, 9-трубопровод для слива воды

В.Д.Килимник, А.Ф.Корнелюк анализировали нестационарные процессы в гидравлических системах с загрузочными аппаратами, что позволяет правильно выбирать запорную арматуру.

В ряде работ исследовался рабочий процесс в камере без дозатора. Однако их результаты не могут быть использованы для струйного питателя.

Наиболее близкая в этом отношении работа А.А.Акрамова по исследованию транспортирующей способности затопленной струи в условиях камерного питателя с наклонно расположенным дозатором. Обобщающее в работе - вскрытие важности роли фильтрационного потока в слое материала. Однако эксперименты проводились по вымыву материалов с крупными зернами (более 6 мм), что не позволяет распространять результаты на вымыв рядовых шахтных материалов, содержащих до 50% мелочи (0-6 мм), от которой резко меняются фильтрационные свойства слоя.

Известные методы расчета основных параметров питателей позволяют определить оптимальные значения по капитальным затратам на камеры. Однако в зависимости от параметров питателя с длительным рабочим циклом существенно изменяются эксплуатационные расходы по всей гидротранспортной установке, а решения такой задачи не имеется.

Известные конструкции оболочек не обеспечивают прочность камер нужных габаритов (диаметр 1,8 + 2,5 м) при давлении более 30-40 бар, что ограничивает область применения гидротранспорта. Автором предложена новая конструкция высокопрочных оболочек - многослойная с жидкостью между слоями. В литературе не имеется сведений о таких оболочках и, естественно, методов расчета и исследований.

Постановка комплексной задачи по разработке принципиальных основ для создания струйного питателя предопределяет необходимость решения следующих частных задач по рабочему процессу, основным параметрам и высокопрочной оболочке:

1. Исследования кинематики и динамики рабочего процесса, изыскание на их основе способов стабильной и регулируемой подачи рядовых материалов в пульпопровод и разработка основ для конст-

руирования рабочих органов в зависимости от заданной характеристики пульпы;

2. Разработка методики определения оптимальных параметров питателя и рациональных структурных схем питателя для различных условий применения;

3. Экспериментальная проверка новой конструкции многослойной оболочки с жидким межслоевым заполнителем, исследование силовой связи между слоями, разработка на этой основе методов расчета для конструирования и определение пределов прочности для различных схем устройства оболочек.

Г Л А В А П

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ В СТРУЙНОМ ПИТАТЕЛЕ

Экспериментальное исследование рабочего процесса - вымыва материала и движения зернистой среды и жидкости в камере, проведены на прозрачных моделях. Качественная характеристика процесса получена на плоской модели, вскрывшей толщу зернистого слоя, количественная - на объемной, с соблюдением кинематического и динамического условий подобия. Линейный масштаб моделирования - 6,9 (за натуру принята камера диаметром 1,8 м, высота слоя 6 м).

Для максимального приближения опытов к реальным условиям моделируемый материал (уголь, глинистый и песчаный сланцы, гранит, мрамор и др.) классифицировали по аналогии с рядовым шахтным материалом, который характеризуется содержанием до 30-50% мелких классов 0-6 мм, что соответствует 0-1 мм в модели. В опытах использован метод контрастной окраски - воды в камере и трубопроводе при прозрачном зернистом материале, укладка материала из контрастных слоев и т.п.

Эксперименты на моделях и натурном питателе показали, что струя дозатора обладает достаточной мощностью для ввода твердых частиц из камеры в пульпопровод независимо от их плотности. При постоянном расходе транспортной воды, консистенция пульпы зависит от площади контакта струи дозатора с зернистой средой и скоростей струи и потока в устье пульпопровода.

Движение материала в камере над дозатором имеет непостоянный характер. Стабильная подача к дозатору наблюдается, когда в материале не содержатся мелкие фракции (в модели - 0-1 мм). По мере добавки мелких и пылеватых частиц, происходят нарушения - разрыв сплошности и при большом их содержании (более 25%) - зависания. Из-за этого задерживается или прекращается подача материала к дозатору.

Причиной нарушений является не только определенное напряженное состояние насыпного слоя, которым объясняют сводообразование в бункерах в воздушной среде, но в основном - потоки воды - в камере. Они являются следствием обменного процесса, характерного для питателей камерного типа. Опыты с контрастной окраской показывают, что объемы вымываемых твердых частиц замещаются транспортной водой, которая при глухой центральной трубе отделяется от струи дозатора и фильтрует навстречу опускающемуся к дозатору слою материала. Оба противоположно направленных потока - твердых частиц и фильтрующей воды имеют разновеликие расходы.

Опытами установлено, что движение зернистой среды в нижней (конической) части камеры имеет гидравлический режим - каждая частица движется по кратчайшему пути к устью пульпопровода, в цилиндрической части - после образования первичного конуса смещения, частицы движутся параллельно стенкам.

Таким образом, экспериментально выявлены две характерные зоны движения материала в камере: одна - в конической части, где твердые частицы движутся беспрепятственно с ускорением под преобладающим влиянием гидродинамического и эжектирующего действия струи дозатора, вторая - в цилиндрической, где движение имеет неустойчивый режим под преобладающим действием сил гравитации, архимедовой силы, силы трения и гидравлического сопротивления фильтрационного потока обменной воды.

Для выявления роли и значения сил во второй зоне произведен теоретический анализ их количественного соотношения. Условие движения имеет вид

$$\Sigma P = G - P_A - T - P_\Phi > 0 \quad (1)$$

Равнодействующая силы веса и архимедовой силы

$$G - P_A = \frac{\pi D^2}{4} H (\gamma_r - \gamma_b) (1 - m), \quad \text{н}, \quad (2)$$

где γ_r, γ_b - объемные веса, соответственно, твердых частиц (в целике) и воды, н/м³;
 D - диаметр цилиндрической части камеры, м;
 H - высота зернистого слоя, м;
 m - порозность зернистой среды, $m = 1 - \frac{\gamma_n}{\gamma_r}$;
 γ_n - объемный вес твердых частиц в насыпке, н/м³;

Силу трения при движении зернистой среды определили, приняв за основу формулу К.В.Алферова и Р.А.Зенкова для расчета бокового давления в бункерах,

$$T = \frac{\pi}{2} f \epsilon k D H^2 (\gamma_r - \gamma_b) (1 - m), \quad \text{н}, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения между зернистой средой и стенками камеры;
 ϵ, k - коэффициенты, соответственно, зависания и бокового давления.

Силу гидравлического сопротивления встречного фильтрационного потока движущемуся зернистому слою определили, приняв за основу формулу И.Лева для слоя из частиц произвольной формы при любом режиме фильтрации,

$$P_\Phi = \frac{8 \lambda \gamma_b Q^2 H}{d_3 g D^2} \left[\frac{(1 - m)^{3-n}}{m^3} \varphi^{3-n} \right], \quad \text{н}, \quad (4)$$

где Q - расход потока зернистой среды (производительность питателя), м³/сек.;
 d_3 - диаметр шара, эквивалентный частице по объему, м;
 $\lambda = f_1(Re)$ - коэффициент сопротивления;
 $n = f_2(Re)$ - показатель степени;
 g - гравитационное ускорение, м/сек²;
 φ - коэффициент формы частиц.

Произведенные расчеты показывают, что наибольшее влияние на перемещение материала во второй зоне имеет сила гравитации и сила гидравлического сопротивления встречного фильтрационного потока, которая гиперболически возрастает при увеличении расхода зернистого потока ($50+600 \text{ м}^3/\text{ч}$) и уменьшении размера твердых частиц ($6+0,25 \text{ мм}$).

На рис.2 дан график $\Sigma P=0$ в функции Q и d_3 , из которого видно, что возможность опускания в камере насыпного слоя с минимальным расходом $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ ограничивается размерами частиц - 1 мм для породы, 2 мм для угля.

Из этого следует, что для стимуляции движения материала в камере необходимо обеспечить такую кинематику обмена, при которой исключалась бы встречная фильтрация. Это достигается подачей воды для обмена непосредственно в насыпной слой по всей его высоте через систему отверстий в центральной трубе. Как показали эксперименты, подача подпиточного потока только в верхнюю часть камеры не имеет эффекта при рядовом материале.

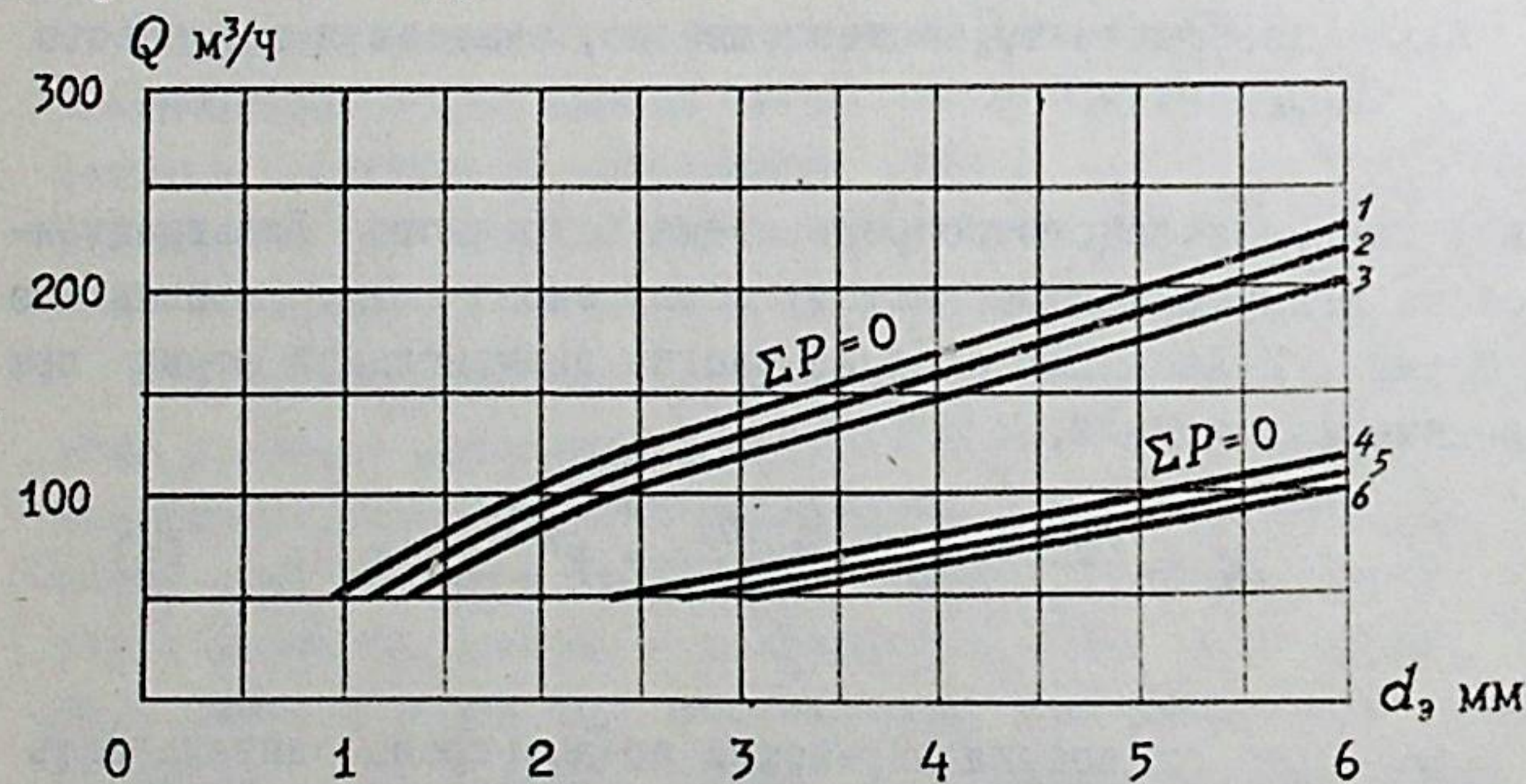


Рис.2. Минимальные условия для движения вниз насыпного слоя материала в цилиндрической части камеры питателя в зависимости от размера частиц и производительности:
 1,2,3 - для породы ($\rho=2,6\text{т}/\text{м}^3$) при высоте слоя, соответственно, 12, 6, и 3м;
 4,5,6, - для угля ($\rho=1,4\text{т}/\text{м}^3$) при высоте слоя, соответственно, 12, 6, и 3м

Комбинированная перфорация центральной трубы - сверху узкими продольными щелями и ниже - поперечными щелями с отсекателями обеспечивает интенсивное движение материалов любого гранулометрического состава, а также полную промывку верхней части камеры за время вымыва.

Опыты показывают, что перфорация центральной трубы вызывает ускоренное движение прилегающего к ней слоя материала. Стабилизация достигается установкой над дозатором устройства в виде усеченного конуса (рис.1). Стабилизатор оказывает сопротивление наиболее подвижному слою и, изменяя его траекторию, вовлекает в движение частицы по всему живому сечению камеры.

Экспериментально исследовано изменение консистенции пульпы в зависимости от параметров рабочих органов: дозатора - высоты подъема и диаметра насадка, стабилизатора - высоты установки и диаметра основания конуса, а также диаметра устья пульпопровода. Установлены диапазоны оптимального изменения параметров. В качестве критерия принят диаметр пульпопровода, который определяют по известным методам для гидротранспорта.

Результаты опытов после обобщения и учета масштаба моделирования приведены к виду, удобному при проектировании:

$$h = 0,197 \frac{d_n^3}{\rho_r d_y^2} + 0,338 \rho_r \frac{T}{\mathcal{K}} \frac{d_c d_n^2}{d_n l}, \text{ мм}, \quad (5)$$

- где d_n - диаметр пульпопровода, мм;
 h - высота подъема дозатора, оптимальные пределы - $(0,35+2)d_n$, мм;
 d_n - диаметр насадка дозатора, $(1+0,65)d_n$, мм;
 d_y - диаметр устья пульпопровода, $(1+0,65)d_n$, мм;
 d_c - диаметр стабилизатора, $(2,5+3,5)d_n$, мм;
 l - высота установки стабилизатора, $(1+1,25)d_n$, мм;
 $T:\mathcal{K}$ - объемная консистенция пульпы.

Выражение (5) справедливо при $h \leq l$, так как при подъеме дозатора выше слоя материала под дозатором, увеличения консистенции пульпы не происходит.

В диапазоне $h = (0,35+2)d_n$ достигается практически любая консистенция пульпы - от 1:25 до 1:1,5.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНОГО ПИТАТЕЛЯ

Струйный питатель - агрегат периодического действия, состоящий из одной или нескольких камер и обеспечивающий загрузку поступающего материала в один пульпопровод одной ступени гидротранспортной установки.

Производительность питателя за цикл:

$$Q_{ц} = \frac{zV}{T}, \quad \text{м}^3/\text{сек.},$$

где V - полезный объем камеры, м^3 ;
 z - количество камер в агрегате;
 T - время цикла, сек.

Время цикла определяется продолжительностью составляющих его операций: основных - загрузки и вымыва, и вспомогательных - переключения запорной арматуры и слива воды (промывка совмещена с вымывом).

$$T = \Sigma t_3 + \Sigma t_B + \Sigma t_{B.O.},$$

$$t_3 = \frac{V}{Q_n}, \quad t_B = \frac{V}{Q_B},$$

$$t_{B.O.} = \Sigma \tau + t_{сл},$$

где t_3 - время загрузки камеры, сек;
 t_B - время вымыва, сек;
 $t_{B.O.}$ - время вспомогательных операций, сек;
 Q_n - производительность поступающего грузопотока, $\text{м}^3/\text{сек}$;
 Q_B - производительность вымыва, $\text{м}^3/\text{сек}$;
 τ - время срабатывания затвора, сек;
 $t_{сл}$ - время слива воды из камеры, сек.

Две камеры в составе питателя являются тем минимальным количеством, при котором обеспечивается непрерывный прием поступающего грузопотока. Для дальнейшей его транспортировки без на-

копления сверх емкости камер необходимо совмещение во времени основных операций, то есть к моменту заполнения одной камеры, другая - должна быть готова к приему поступающего грузопотока:

$$t_3 = t_B + t_{B.O.} \quad (6)$$

Из этого следует, что $Q_B > Q_n$, а их отношение, названное коэффициентом интенсивности вымыва, является одним из основных критериев в определении оптимальных параметров питателя и гидротранспортной установки:

$$\alpha = \frac{Q_B}{Q_n} > 1.$$

При совмещении основных операций, одинаковой емкости камер и однотипной запорной арматуры, время цикла и производительность питателя составляют

$$T = 2z(t_B + t_{B.O.}),$$

$$Q_{ц} = \frac{V}{2z(t_B + t_{B.O.})}.$$

Увеличение количества камер оказывает влияние на производительность лишь в пределах $t_{B.O.} = f\left(\frac{1}{z}\right)$. Анализом циклограмм питателя с различным числом камер установлено, что предельное уменьшение $t_{B.O.}$ достигается при $z=3$ (за счет совмещения слива с основными операциями).

Объем камеры питателя при совмещении основных операций определен из условия (6):

$$V = \frac{t_{B.O.} Q_n}{1 - \frac{1}{\alpha}} \quad (7)$$

Выражение (7) является уравнением гиперболы, поэтому технологические условия обеспечиваются в очень большом диапазоне изменений V и α . По соображениям эффективности гидротранспортной установки целесообразно, чтобы оба эти параметра имели минимальные значения.

Оптимальными параметрами питателя являются такие их значения, при которых достигаются наименьшие приведенные затраты по гидротранспортной установке, существенно изменяющиеся в зависи-

мости от производительности вымыва и емкости камер:

$$\Pi = EK + C_T + C_H + C_B = \min, \quad (8)$$

- где Π - приведенные затраты по гидротранспортной установке, руб.;
- K - капитальные вложения на камеры питателя, руб.;
- E - нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат;
- C_T, C_H, C_B - годовые эксплуатационные расходы, соответственно, на транспорт пульпы, на непроизводительное перемещение воды в период переключений камер, на транспорт воды к питателю, руб.

После определения значений слагаемых выражения (8) и испытания на минимум по переменной величине - коэффициенту интенсивности вымыва, определили его оптимальные значения:

при поступлении сухого материала -

$$\alpha_c = 1 + \sqrt{\frac{0,57 z \gamma_{ст} P a_{ст} t_{в.о} \eta}{k m a_3 \sigma_{Lz} [(1+J_B) H_T + J_B H_B]}}, \quad (9)$$

при поступлении пульпы -

$$\alpha_{ж} = 1 + \sqrt{\frac{0,57 z \gamma_{ст} P a_{ст} t_{в.о} \eta (1+J_H)}{k m a_3 \sigma_{Lz} [(1+J_B) H_T + J_B H_B]}}, \quad (10)$$

- где P - рабочее давление в камере питателя, кгс/см²;
- H_T - напор транспортного насоса, м вод.ст.;
- H_B - напор насоса для подачи воды к установке, м вод.ст.;
- η - к.п.д. транспортного насоса;
- J_H, J_B - жидкая составляющая пульпы в частях по объему, соответственно, поступающей и вымываемой;
- k - число часов работы установки в сутки;
- m - число рабочих дней в году;
- $\gamma_{ст}$ - плотность стали, т/м³;
- σ_{Lz} - допускаемое напряжение при растяжении принятой марки стали для изготовления оболочек камер, кгс/см²;
- $a_{ст}$ - стоимость 1 т принятой марки стали, руб.;
- a_3 - стоимость 1 квтч электроэнергии, руб.

Оптимальная емкость камеры определяется подстановкой в формулу (7) оптимального значения α из (9) или (10) в зависимости от поступающего грузопотока.

При изменении исходных величин в интервалах: $P = 15 \div 250$ бар, $t_{в.о} = 60 \div 600$ сек., $H_T = 200 \div 500$ м вод.ст., пределы оптимальных значений коэффициента интенсивности вымыва составляют:

$$\alpha_c = 1,18 \div 1,62, \quad \alpha_{ж} = 1,44 \div 2,5.$$

Изменение значений оптимальной емкости камеры в диапазоне $Q_n = 100 \div 500$ м³/ч (по твердому) составляет $14 \div 75$ м³ ($z=2, t_{в.о} = 180$ сек., $T:Ж = 1:4$) при поступлении сухого материала и $20 \div 140$ м³ ($z=3, t_{в.о} = 120$ сек., $T:Ж = 1:4$) при поступлении пульпы.

На рис.3 приведена универсальная схема питателя для приема сухих материалов или пульпы.

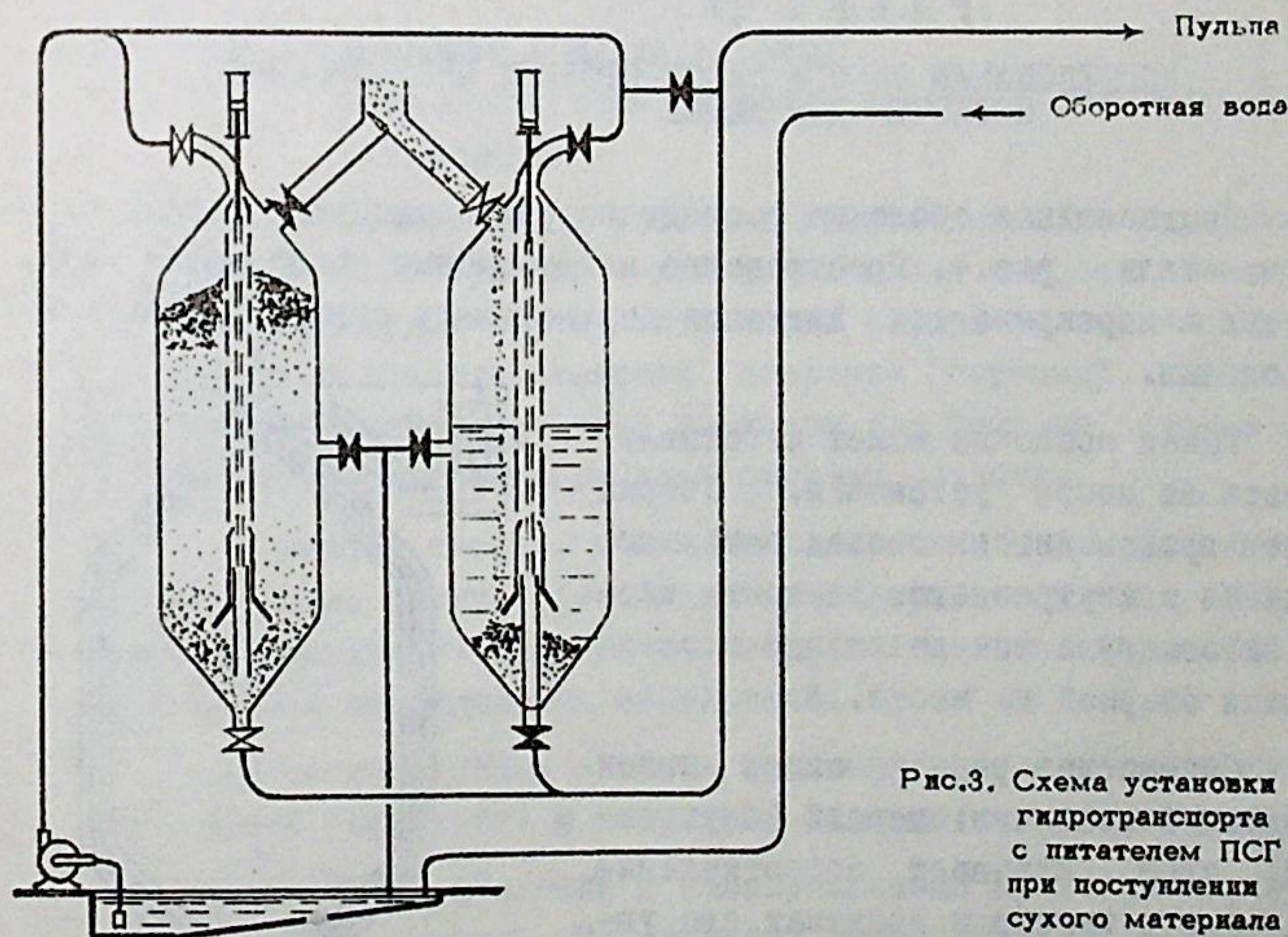


Рис.3. Схема установки гидротранспорта с питателем ПСГ при поступлении сухого материала

Анализ изменения основных параметров показывает, что целесообразно максимально сокращать время вспомогательных операций. Это достигается при компоновке структурных схем максимально возможным совмещением операций и рациональным выбором последователь-

ности, количества и времени срабатывания запорной арматуры.

Время слива изменяется в больших пределах, так как зависит от объема воды, подлежащей сбросу (при материале - только в объеме загружаемой порции, при пульпе - в объеме всей камеры), и интенсивности слива (диаметр и количество труб слива).

При поступлении сухого материала целесообразно иметь две камеры, так как по расчетам для конкретных условий, при трех камерах большого эффекта не достигается, но усложняется управление и автоматизация установки. При поступлении пульпы целесообразно иметь три камеры для возможности совмещения слива с основными операциями.

Г Л А В А I V

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ КАМЕР

Многослойная оболочка состоит из ряда замкнутых тонких слоев из стали - рис.4. Пространство между слоями заполняется жидкостью и перекрывается. Жидкость осуществляет силовую связь между слоями.

Такая оболочка может изготавливаться на месте установки. Сборка слоев производится последовательно, начиная с внутреннего. Элементы слоев заготавливаются на заводе и соединяются сваркой на месте.

Совместная работа слоев имеет следующий механизм: первый (внутренний) слой оказывает сопротивление давлению в камере в пределах его упругих свойств, расширяясь в пределах упругих деформаций, слой передает нагрузку через жидкость следующему слою и т.д., пока не будет воспринято рабочее давление.

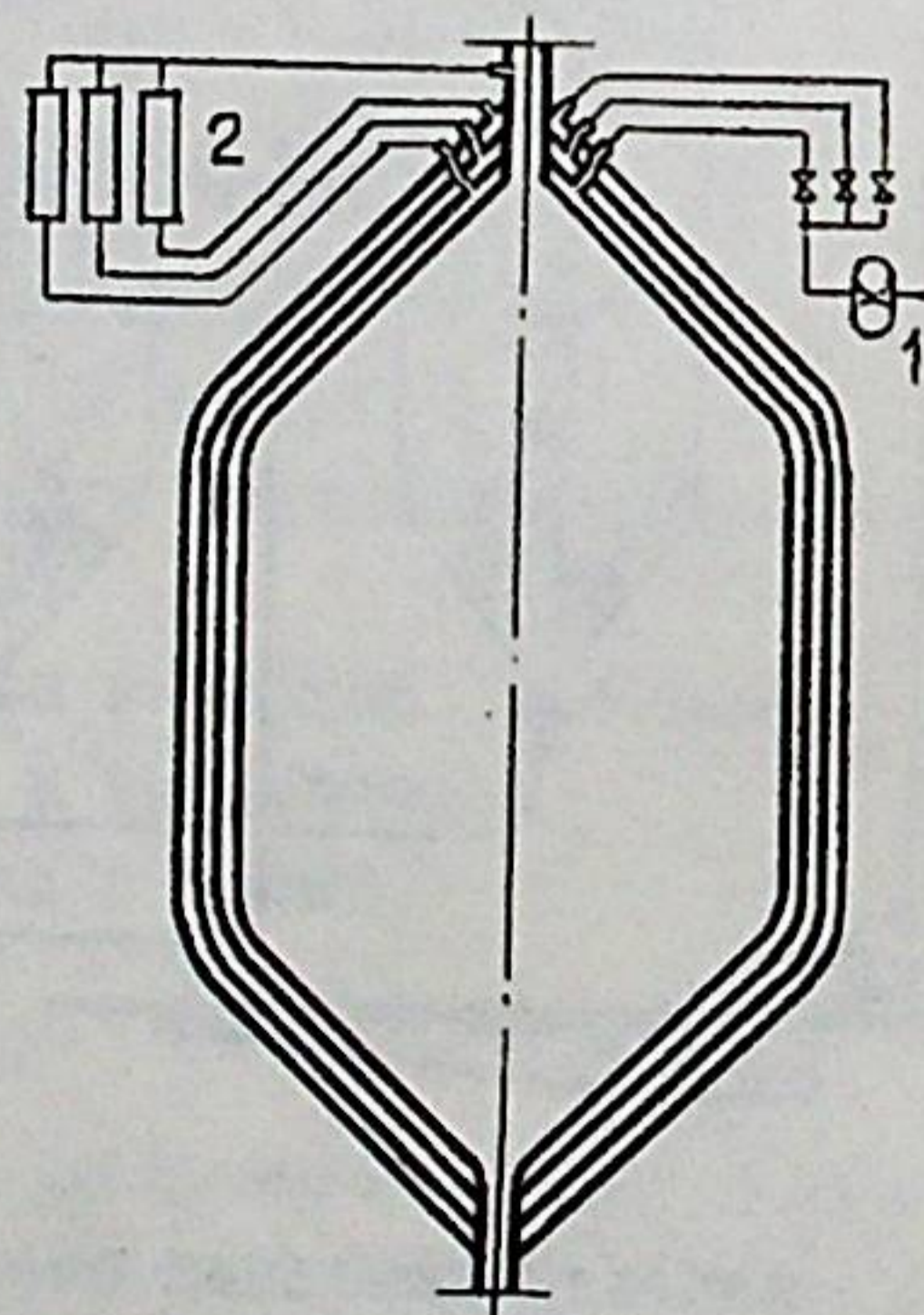


Рис.4. Четырехслойная оболочка
1-насос, 2-компенсаторы
объемов для схемы "г"

Экспериментами на моделях подтвердили принципиальные основы такой конструкции оболочки и выявили свойства силовой связи.

Каждая межслоевая полость имеет по два выхода наружу - патрубки с запорной арматурой или каналы в теле конструктивных элементов, один - для заполнения жидкостью, другой - для вывода воздуха.

Слои не имеют непосредственных контактов между собой, за исключением мест закрепления сваркой к технологическим трубопроводам - вершины конусов, где наименьшие напряжения и деформации. По условиям приложения сил слои являются независимыми и рассматриваются в задачах механики как самостоятельные оболочки, нагруженные симметричным давлением.

Перепад давлений, вызывающий деформацию слоя

$$\Delta P_i = P_i - P_{i-1},$$

где P - давление в полости, бар;
 i - порядковый номер полости или слоя (от внутреннего к наружному).

Расчет тонкостенных оболочек производится по формулам безмоментной теории. Критерием для определения напряжений и др. параметров в цилиндрической, конической (сферической) частях и в зоне краевого эффекта является давление (перепад), вызывающее деформацию. Определение этой величины для каждого слоя - основная задача в исследованиях многослойной оболочки.

Количество слоев в оболочке в принципе не ограничено. При выборе толщины слоев - тенденция к минимуму, так как при этом полнее используются упругие свойства материала, за счет более равномерного распределения напряжений.

Анализ выявленных свойств показывает, что многослойную оболочку можно устраивать и напрягать слои по четырем схемам.

Схема "а" - оболочка с ненапряженными предварительно слоями одинаковой толщины. Заполненные жидкостью межслоевые полости перекрывают без предварительного давления.

Экспериментально на моделях четырехслойной оболочки установлено, что величины давлений в межслоевых полостях распределяются в убывающем порядке от камеры к периферии и зависят от ве-

ности, количества и времени срабатывания запорной арматуры.

Время слива изменяется в больших пределах, так как зависит от объема воды, подлежащей сбросу (при материале - только в объеме загружаемой порции, при пульпе - в объеме всей камеры), и интенсивности слива (диаметр и количество труб слива).

При поступлении сухого материала целесообразно иметь две камеры, так как по расчетам для конкретных условий, при трех камерах большого эффекта не достигается, но усложняется управление и автоматизация установки. При поступлении пульпы целесообразно иметь три камеры для возможности совмещения слива с основными операциями.

Г Л А В А I V

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ КАМЕР

Многослойная оболочка состоит из ряда замкнутых тонких слоев из стали - рис.4. Пространство между слоями заполняется жидкостью и перекрывается. Жидкость осуществляет силовую связь между слоями.

Такая оболочка может изготавливаться на месте установки. Сборка слоев производится последовательно, начиная с внутреннего. Элементы слоев заготавливаются на заводе и соединяются сваркой на месте.

Совместная работа слоев имеет следующий механизм: первый (внутренний) слой оказывает сопротивление давлению в камере в пределах его упругих свойств, расширяясь в пределах упругих деформаций, слой передает нагрузку через жидкость следующему слою и т.д., пока не будет воспринято рабочее давление.

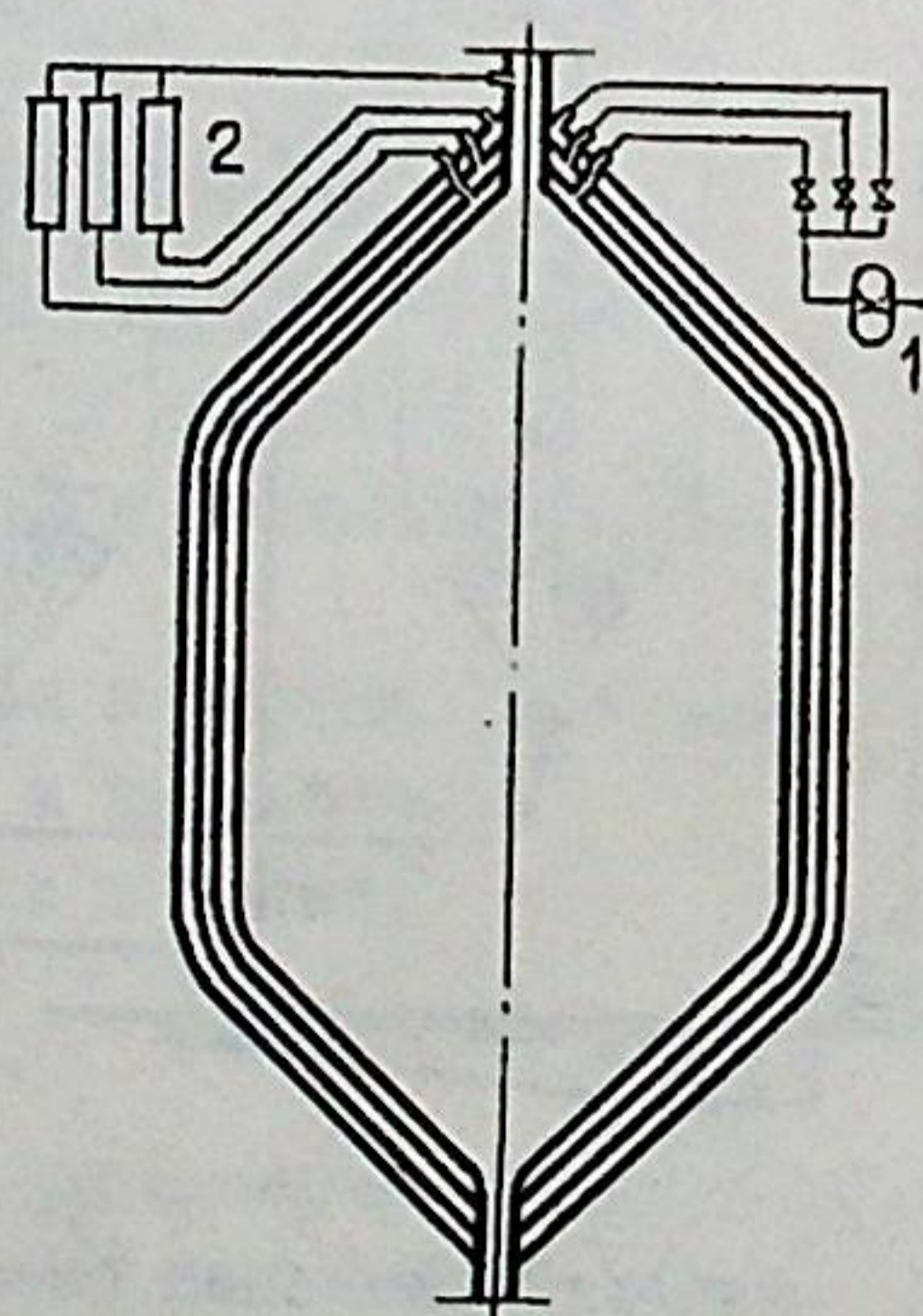


Рис.4. Четырехслойная оболочка
1-насос, 2-компенсаторы
объемов для схемы "г"

Экспериментами на моделях подтвердили принципиальные основы такой конструкции оболочки и выявили свойства силовой связи.

Каждая межслоевая полость имеет по два выхода наружу - патрубки с запорной арматурой или каналы в теле конструктивных элементов, один - для заполнения жидкостью, другой - для вывода воздуха.

Слои не имеют непосредственных контактов между собой, за исключением мест закрепления сваркой к технологическим трубопроводам - вершины конусов, где наименьшие напряжения и деформации. По условиям приложения сил слои являются независимыми и рассматриваются в задачах механики как самостоятельные оболочки, нагруженные симметричным давлением.

Перепад давлений, вызывающий деформацию слоя

$$\Delta P_i = P_i - P_{i-1},$$

где P - давление в полости, бар;
 i - порядковый номер полости или слоя (от внутреннего к наружному).

Расчет тонкостенных оболочек производится по формулам безмоментной теории. Критерием для определения напряжений и др. параметров в цилиндрической, конической (сферической) частях и в зоне краевого эффекта является давление (перепад), вызывающее деформацию. Определение этой величины для каждого слоя - основная задача в исследованиях многослойной оболочки.

Количество слоев в оболочке в принципе не ограничено. При выборе толщины слоев - тенденция к минимуму, так как при этом полнее используются упругие свойства материала, за счет более равномерного распределения напряжений.

Анализ выявленных свойств показывает, что многослойную оболочку можно устраивать и напрягать слои по четырем схемам.

Схема "а" - оболочка с ненапряженными предварительно слоями одинаковой толщины. Заполненные жидкостью межслоевые полости перекрывают без предварительного давления.

Экспериментально на моделях четырехслойной оболочки установлено, что величины давлений в межслоевых полостях распределяются в убывающем порядке от камеры к периферии и зависят от ве-

личины давления в камере, места расположения полости в оболочке и общего количества слоев:

$$P_i = f(P_1, i, n),$$

где P_1 - давление в камере, бар;
 n - количество слоев.

Функция $P_i = f(P_1)$ имеет прямолинейный закон. Для количественной оценки передачи давления в межслоевые полости в зависимости от давления в камере принято отношение

$$k_{in} = \frac{P_i}{P_1}, \quad (II)$$

где k_{in} - коэффициент передачи давления в данную полость при определенном количестве слоев.

График $k_{in} = f(n, i)$ по экспериментальным данным приведен на рис.5.

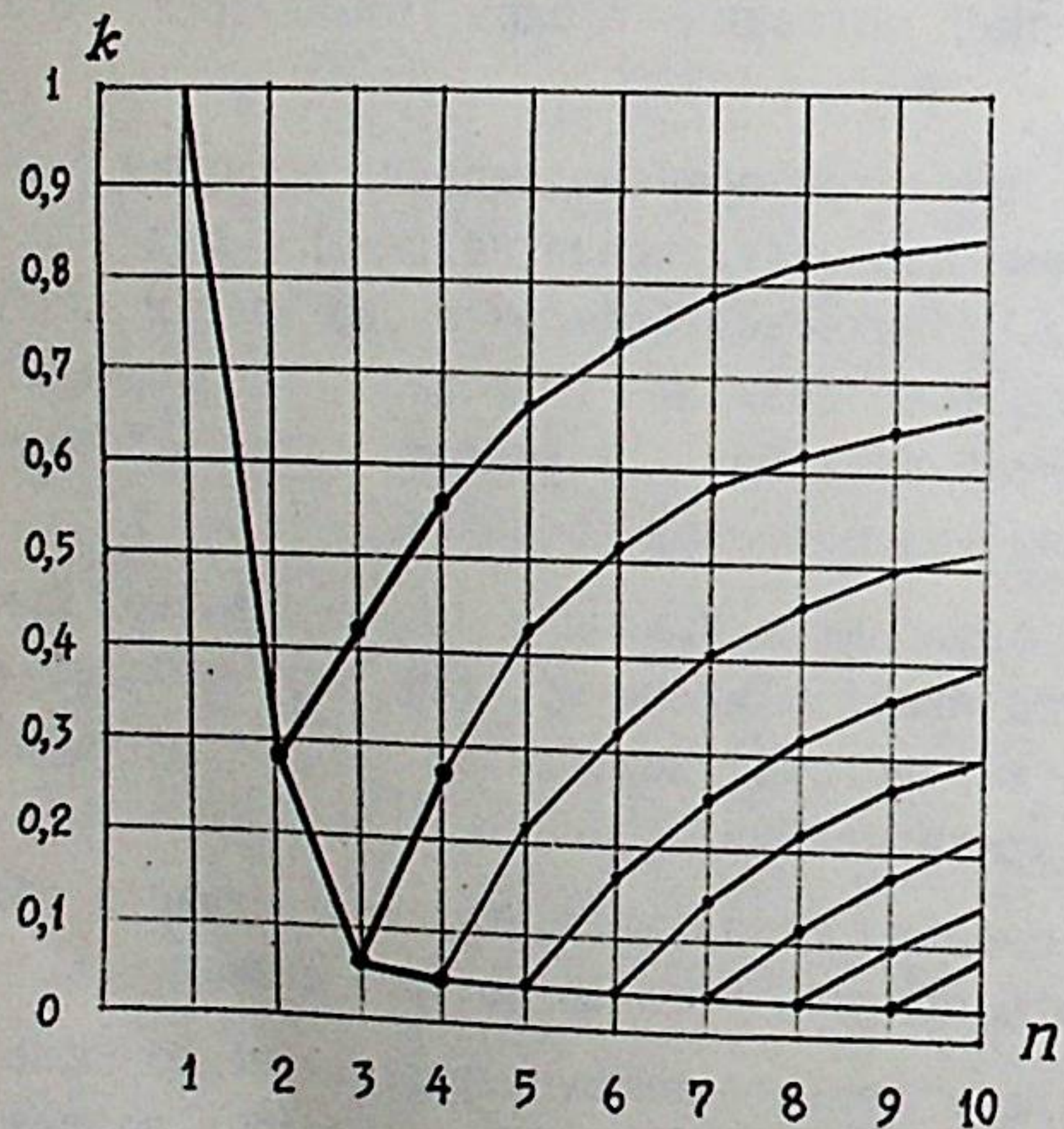


Рис.5 Изменение коэффициента передачи давления из камеры в межслоевые полости в зависимости от количества слоев

Предельное напряжение достигается только в первом слое. При вводе в работу каждого нового слоя, напряжения в предыдущем (предпоследнем) повышаются, а затем, с вводом следующих слоев, постепенно уменьшаются. Это показывает, что распределение напря-

жений в комплексе оболочки по схеме "а" аналогично толстостенной однослойной оболочке - упругие свойства периферических слоев используются не полностью.

Хотя количество слоев в принципе не ограничено, но из анализа изменений коэффициента передачи давления в последние полости в зависимости от числа слоев видно, что эффективное число слоев для схемы "а" - 6-7. При увеличении его, напряжения в последних слоях будут составлять не более 10% от первого слоя.

Максимальное давление в камере определяется по допускаемому перепаду давлений на первый слой в зависимости от числа слоев

$$P_1 = \frac{\Delta P}{1 - k_{in}} \quad (I2)$$

Для оболочки по схеме "а" из стали ($\sigma_{Lz} = 1300 \text{ кгс/см}^2$), имеющей диаметр 200 см и толщину слоев по 1 см, при $n = 7$ (суммарная толщина 7 см), допускаемое давление в камере составляет 62 бар. Толщина стенки однослойной оболочки для таких же условий - 4,8 см (однако такую оболочку выполнить крайне затруднительно).

Схема "б" - оболочка с равнонапряженными слоями разной толщины. Эта оболочка имеет аналогию со схемой "а", за исключением того, что слои, начиная со второго, ослабляют за счет уменьшения толщины, пропорционально убывающим к периферии перепадам давлений между полостями. Этим достигается одинаковое напряжение всех слоев, при сохранении прочности оболочки, что дает экономию металла по сравнению со схемой "а".

Максимальное давление определяется по (I2), толщина каждого слоя по формуле

$$\delta_i = \frac{\delta_1 (k_{L-1} - k_L)}{1 - k_{in}} \frac{D_i}{D_1}, \text{ см.}$$

Для рассмотренного выше примера суммарная толщина слоев составляет 4,5 см.

Схема "в" - оболочка с предварительно напряженными слоями. Сущность предварительного напряжения заключается в том, чтобы вынудить слои независимо от толщины, количества слоев и места расположения в оболочке отдавать всю энергию упругости на преодоление давления в камере. Для этого создают в каждой межслоевой полости постоянное давление такой величины, при которой обес-

печивается предельное напряжение слоя в период максимального давления в камере.

Экспериментально исследованы силовые связи между слоями при подаче давления в межслоевые полости и разработаны способы предварительного напряжения слоев. На основании анализа выявленных закономерностей разработан аналитический способ определения величины предварительного давления в любой полости:

$$P_i^{mp} = \sum_{i+1}^n \Delta P^A - k_{in} \sum_{i=1}^n \Delta P^A,$$

где P_i^{mp} - предварительное давление в данной полости, бар;
 ΔP^A - допускаемое давление на слой (определяется по габаритам и допускаемому напряжению для данного слоя), бар.

Максимальное давление в камере

$$P_1^{max} = \sum \Delta P^A.$$

В период, когда давление в камере снято, слои, за исключением последнего, могут терять устойчивость под действием упругости предварительно растянутых слоев. Поэтому при конструировании необходимо производить расчеты на устойчивость слоев сжатия по известным формулам.

В случаях, когда максимальное предварительное давление, которое необходимо в средних полостях оболочки, вызывает потерю устойчивости, целесообразно устройство шайб жесткости. Их следует устанавливать в первом слое, что обеспечивает устойчивость всех слоев.

Для оболочки по схеме "в", имеющей габариты, толщину и число слоев по "а", допускаемое давление в камере составляет 90 бар, предварительные давления в межслоевых полостях от 0,9 до 12,4 бар.

При высоком давлении в камере (более 200-250 бар), увеличивается величина максимального предварительного давления в полостях, поэтому для устойчивости требуются более прочные конструкции, чем шайбы жесткости, что нецелесообразно.

Схема "г" - оболочка с дополнительно напрягаемыми слоями в период роста рабочего давления в камере. Оболочка отличается от

предыдущей способом обеспечения устойчивости слоев - регулируемой величины давления в межслоевых полостях. Это достигается изменением объемов жидкости в межслоевых полостях с помощью компенсаторов объемов.

Разработано несколько конструкций компенсаторов. В принципе - это сосуд с клапаном, который с одной стороны соединен с межслоевой полостью, другой - с камерой. Клапан перемещается автоматически под действием перепада давлений между камерой и полостью. Емкость компенсатора определяют по приращению объема полости от действия предварительного давления по известным формулам, а точность дозировки при работе обеспечивается в период подготовки оболочки к эксплуатации (по разработанному способу). Каждая межслоевая полость имеет свой компенсатор.

Количество слоев в оболочке по схеме "г" не ограничено, как и давление в камере.

Г Л А В А У

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В главе приводятся результаты работы первого промышленного образца струйного питателя ПСГ-1, который эксплуатируется с 1963 года на поверхности шахты № 5-13 Ташковка в установке гидротранспорта породы в отвал.

Питатель состоит из двух камер, емкость каждой 30 м³ (диаметр 2,2 м, высота 12,5 м). Расчетное давление в камерах составляет 18 бар. В качестве запорной арматуры служат серийные задвижки ЛПЗ с электроприводом.

Производительность установки - 100 т/ч, производительность вымыва - 200 т/ч (Т:Ж=1:4 по объему, диаметр труб 200 мм). Время рабочего цикла - 58 мин., вспомогательных операций - 28 мин. (объясняется длительным срабатыванием каждой задвижки - 3 мин.).

За время работы установки, в отвал доставлены сотни тысяч тонн породы. Годовой экономический эффект определяется в сумме 52 тыс.руб.

Опробована и дала положительные результаты работа питателя ПСГ-1 по углю.

Приводится проект установки со струйным питателем для гидротранспорта породы в отвал производительностью 360 т/ч на расстоянии 4,8 км (расчетное давление в камерах - 82 бар). Проект рас-

работан в институте Днепрогипрошахт в составе технического проекта строительства крупнейшего в Донбассе рудника им. Володарского. Даны расчеты всех элементов питателя по методам, разработанным в настоящей работе.

Приведенные затраты по сравнению с конкурирующими видами транспорта меньше на 175+483 тыс.руб. в год или в 1,6+3 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты комплексных исследований струйного питателя сводятся к следующему.

А. По рабочему процессу - исследована кинематика и динамика потоков жидкости и рядовых шахтных материалов в камере с вертикальным дозатором (подобные исследования ранее не проводились):

1. Экспериментами на моделях и натурной камере установлено, что струя дозатора производит эффективный вымыв материала из камеры в пульпопровод практически без ограничений по удельному весу, гранулометрическому составу и производительности.

2. Экспериментальное исследование потоков и количественный анализ соотношения сил, действующих на зернистый слой в камере, выявили две характерные зоны движения материала: в нижней части камеры, где твердые частицы движутся беспрепятственно с ускорением под преобладающим влиянием гидродинамического и эжектирующего действия струи дозатора, и в цилиндрической части, где движение имеет неустойчивый режим - преобладают противоположно направленные силы - гравитация и гидравлическое сопротивление фильтрующего потока обменной воды. Последняя сила, при встречной фильтрации гиперболически возрастает с увеличением расхода потоков и уменьшением зерен, из-за чего ограничивается производительность питателя.

3. Разработаны способы управления рабочим процессом и рабочие органы питателя: а) для интенсивного движения материала в цилиндрической части камеры - подача обменной воды по всей высоте слоя через систему отверстий в центральной трубе, что исключает встречную фильтрацию, б) для равномерного движения материала в нижней части - установка стабилизатора, изменяющего траек-

торию потока, в) для регулирования консистенции пульпы и плавной силовой нагрузки дозатор выполняется подвижным.

4. Экспериментально исследовано влияние параметров рабочих органов на консистенцию пульпы, установлены пределы эффективного изменения параметров и разработана методика расчета для конструирования рабочих органов.

Б. По основным параметрам питателя - разработан метод оптимизации, охватывающей важнейшие факторы всей гидротранспортной установки (известные методы ограничиваются только факторами питателя):

1. Определена аналитическая зависимость между основными параметрами - емкостью и количеством камер, времени цикла и вспомогательных операций, производительностью поступающего и вымываемого грузопотоков.

2. Выявлены факторы, интенсивно влияющие на изменение емкости камер - время вспомогательных операций, производительность поступающего и вымываемого грузопотоков и их соотношение - коэффициент интенсивности вымыва. Установлено минимальное количество камер - две, максимальное, больше которого не уменьшается емкость камер, - три (две камеры целесообразны при поступлении сухого материала, три - при поступлении пульпы).

3. Разработаны структурные схемы и циклограммы питателя для различных условий применения, обеспечивающие максимальное совмещение операций и минимальное время вспомогательных операций.

4. Оптимальные параметры устанавливаются по наиболее выгодному значению коэффициента интенсивности вымыва, которое определяют по наименьшим приведенным затратам по гидротранспортной установке.

В. По высокопрочной оболочке для камер - впервые исследована новая конструкция многослойной оболочки с жидкостью между слоями (известные конструкции не обеспечивают необходимую прочность):

1. Экспериментально на моделях выявлены закономерности силовых связей между слоями и на их основе разработаны методы расчета для конструирования многослойных оболочек с различными схемами напряжения слоев.

2. Разработаны способы и устройства для предварительного напряжения слоев и метод расчета предварительного давления

в межслоевых полостях.

3. Установлено эффективное количество слоев и предварительное рабочее давление в камере по различным схемам напряжения слоев: без предварительного напряжения число слоев 6-7, давление 60-70 бар; с предварительным напряжением - число слоев и давление ограничивается условиями устойчивости на сжатие от предварительного давления в период минимального давления в камере (до 200-250 бар), с дополнительно напрягаемыми слоями в период роста рабочего давления в камере - число слоев и давление в камере не ограничено.

Настоящая работа дает основы для проектирования струйного питателя с большой областью применения по транспортируемому материалу, производительности и напору. Предложенные методы расчета и результаты исследований использованы институтом Днепрогипрошахт при проектировании установок гидротранспорта породы для шахты №5-13 Тошковка и крупнейшего в Донбассе рудника им. Володарского.

Первый промышленный образец струйного питателя успешно эксплуатируется на шахте № 5-13 Тошковка.

Диссертационная работа и отдельные ее разделы докладывались в институте ВНИИгидроуголь, на конференциях по гидравлическому транспорту в ИГД им. Скочинского, Южгипрошахте, УкрНИИгидроуголь, на техсоветах Днепрогипрошахта, в отделе экспертизы проектов и смет Минуглепрома СССР, в техническом управлении Минуглепрома УССР, в б.тресте Кировуголь и комбинате Ворошиловградуголь, а также на шахте № 5-13 Тошковка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Устройство для подачи твердых измельченных материалов в транспортный трубопровод гидротранспортной установки. Авторское свидетельство № 163949 от 30.IV.1964г. (приоритет от 12.X.1959г., соавтор И.Н.Сурдутович).
2. Питатель с регулируемой производительностью для гидроподъема угля и породы. "Уголь Украины", 1961, № 4 (соавтор И.Н.Сурдутович).
3. Питатель с регулируемой производительностью для гидроподъема угля и породы. Сб. "Проектирование и строительство угольных предприятий", ЦИТИ угля, 1961, № 2.
4. Камерный питатель с регулируемой производительностью для гидроподъема угля и породы. Сб. "Загрузочные аппараты для высоконапорного гидравлического транспорта сыпучих материалов" ИГД им.Скочинского. Издательство АН СССР, 1963г.
5. Струйно-гидравлический питатель ПСТ. Сб. "Гидравлическая добыча угля", 1967, № 4.