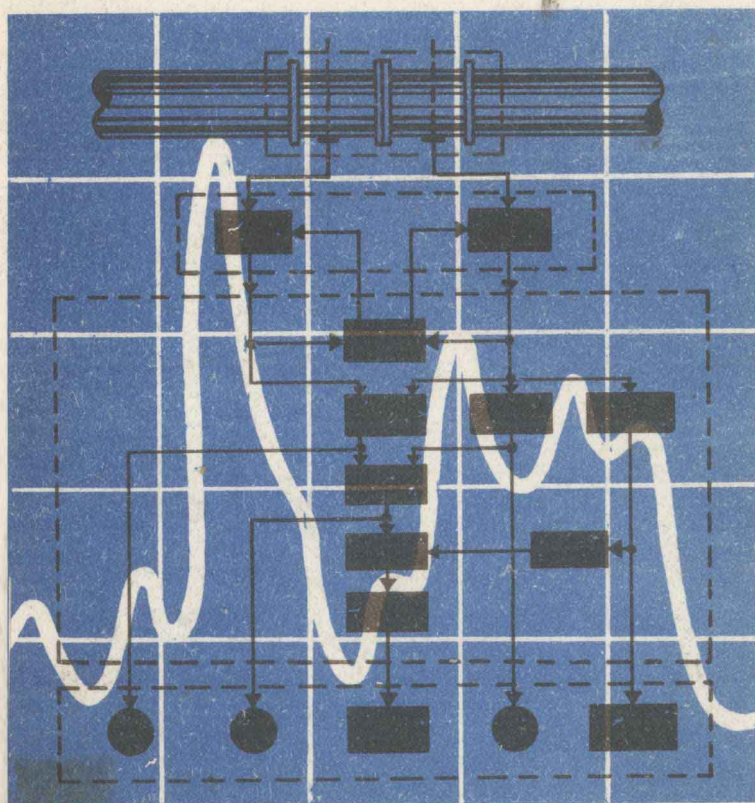


А.Б. Релин

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕСОСНЫХ СНАРЯДОВ



Аркадий Борисович Релин

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕСОСНЫХ СНАРЯДОВ**

**РЕДАКЦИЯ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕХНОЛОГИИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Зав. редакцией *Е.А. Ларина*

Редактор *И.В. Ситникова*

Технические редакторы *Н.Е. Поплавская, Е.Н. Ненарокова*

Корректор *Н.С. Сафронова*

ИБ №3603

Подписано в печать 15. 07.85 Т-16890 Набор машинописный
Печать офсетная Бумага офсетная № 2 Усл. печл. 7,56
Усл. кр.-отт. 7,77 Уч.-изд. л. 8,6 Тираж 2200 экз.
Изд. № АУ1-533 Зак. №143 Цена 45 коп.

Москва, 101442, Стройиздат, Калевская ул., 23а
Тульская типография Союзполиграфпрома при Государст-
венном комитете СССР по делам полиграфии
и книжной торговли
г. Тула, пр-т Ленина, 109

Эффективным режимом работы земснаряда является режим, обеспечивающий наибольшую возможную в данных условиях производительность по грунту. Максимальная производительность земснаряда обеспечивает выполнение заданного объема работ в кратчайший срок. Это может дать существенный экономический эффект не только за счет минимальной себестоимости продукции собственно земснаряда, но и по объекту в целом, на котором он работает: меньшее число используемых земснарядов, сокращение сроков строительства, более рациональное применение вспомогательной техники и т.п. Однако работа земснаряда с максимальной производительностью не всегда обеспечивает минимальную стоимость выполняемых работ. Поэтому управление земснарядом должно сводиться к поддержанию оптимального режима, обеспечивающего наилучшие технико-экономические показатели.

Оглавление

Предисловие	3
Глава I. Основные задачи автоматического контроля параметров технологического процесса земснарядов	7
1. Земснаряд. Технологический процесс	7
2. Информационное обеспечение системы автоматизации земснаряда	14
3. Требования, предъявляемые к устройствам автоматического контроля параметров технологического процесса	20
Глава II. Анализ состояния измерения параметров водогрунтовых пульп в потоке	22
1. Общие вопросы консистомерии	22
2. Методы измерения консистенции, основанные на принципе определения массы известного объема пульпы	28
3. Методы измерения консистенции, основанные на принципе определения ослабления энергии механических или электромагнитных волн	33
4. Методы измерения консистенции, основанные на принципе определения магнитных или электрических свойств пульпы	35
5. Диэлькометрический метод измерения консистенции	40
6. Измерение объемного расхода пульпы	46
7. Дискретно-непрерывный вероятностный метод измерения скорости движения твердой фазы пульпы	55
8. Измерение объемного расхода твердой фазы пульпы	71
Глава III. Устройства для измерения консистенции пульпы	77
1. Принцип построения	77
2. Первичный измерительный преобразователь	79
3. Блок измерения консистенции	87
4. Блок автоматической коррекции "нуля"	92
5. Консистомеры для песчано-гравийных пульп	96
6. Консистомеры для разнохарактерных пульп	98
Глава IV. Устройства для измерения скорости движения твердой фазы пульпы	103
1. Конструктивная реализация устройства измерения скорости	103
2. Перспективные направления совершенствования устройств измерения скорости	115
Глава V. Многофункциональные системы автоматического контроля технологических параметров	119
1. Система УКПЗ-1	120
2. Система УКПЗ-1М	126
3. Система "Грунт-01Р"	130
Заключение	133
Список литературы	135

А.Б. Релин

**СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ
ЗЕМЛЕСОСНЫХ
СНАРЯДОВ**



Москва Стройиздат 1985

ББК 38.623

Р 36

УДК 624.132.345:621.879.45-52

Рецензент — главный конструктор отдела новых машин и монтажных работ Гидропроекта Ю.И. Члек.

Релин А.Б.

Р 36 Системы автоматического контроля технологических параметров землесосных снарядов. — М.:Стройиздат, 1985. — 144 с., ил.

Дан анализ отечественного и зарубежного опыта разработки методов, а также реализующих их устройств и систем автоматического контроля основных технологических параметров земснарядов. Рассмотрены перспективный диэлькометрический метод измерения консистенции водогрунтовой пульпы, новый дискретно-непрерывный вероятностный метод измерения скорости движения ее твердой фазы, методы определения производительности по грунту земснарядов. Приводятся результаты оригинальных исследований по этим вопросам.

Для инженерно-технических работников научно-исследовательских, проектных и строительных организаций.

Р 3204010000-231-74-85
047 (01) — 85

ББК 38.623
6С6.1

© Стройиздат, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

На апрельском (1985 г.) Пленуме ЦК КПСС и совещании (июнь, 1985 г.) в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса большое внимание было уделено производству новых поколений машин и оборудования, которые способны обеспечить внедрение прогрессивной технологии, многократно повысить производительность труда, снизить материалоемкость, поднять фондоотдачу.

Широкая автоматизация технологических процессов непосредственно касается и гидромеханизации земляных строительных работ, получившей большое распространение в народном хозяйстве страны.

Известно, что основным технологическим оборудованием гидромеханизации являются землесосные снаряды (земснаряды). Парк земснарядов, используемых в транспортном, гидротехническом и энергетическом строительстве, при производстве земляных, открытых горных, дноуглубительных и мелиоративных работ, превышает более 3 тыс. единиц. Их единичная производительность по грунту достигает $1200 \text{ м}^3/\text{ч}$, а общий объем выполняемых работ — более 750 млн. м^3 грунта в год и, по подсчетам специальной комиссии может составить в ближайшие годы 900 млн. м^3 .

Все шире применяется гидромеханизация для добычи и переработки песчано-гравийных материалов, потребность в которых ежегодно возрастает. В ближайшие годы объем этих работ составит большую часть выполняемого с помощью земснарядов объема работ по разработке нерудных полезных ископаемых.

Поточная технология разработки грунтов земснарядами предопределяет возможность обеспечения ее высокой эффективности. Например, разработка нерудных полезных ископаемых средствами гидромеханизации позволяет снизить себестоимость горных работ в 2...3 раза по сравнению с другими способами их ведения при одновременном улучшении качества получаемой продукции. Кроме того, известно, что гидромеханизированный способ производства строительных земляных работ является наиболее экономичным и эффективным по сравнению с «сухими» способами производства и с точки зрения охраны окружающей среды. Однако надо отметить, что гидромеханизированные процессы с использованием земснарядов являются сравнительно энергоемкими. По данным д-ра техн. наук Н. А. Иванова, в СССР ежегодно на перекачку различных пульп, в том

числе и с использованием земснарядов, затрачивается около 2 млрд. кВт·ч электроэнергии.

Поддержание наиболее эффективного режима работы земснаряда является чрезвычайно важной задачей. Степень ее решения и определяет технико-экономические показатели технологического процесса, реализуемого земснарядом при его работе в определенных горнотехнологических условиях. При этом цель ручного или автоматического управления земснарядом состоит в отыскании и поддержании такого режима технологического процесса, который максимально удовлетворяет одному из принимаемых критериев эффективности: минимальной себестоимости разработки грунта; минимальному удельному расходу электроэнергии; максимальной консистенции пульпы; полному использованию всасывающей способности землесоса или мощности его электропривода; максимальной производительности по грунту.

Анализ известных результатов исследований, выполненный инж. Ю. И. Члеком, показал, что наиболее эффективным режимом работы земснаряда является режим, обеспечивающий наибольшую возможную в данных условиях производительность по грунту. Максимальная производительность земснаряда обеспечивает выполнение заданного объема работ в кратчайший срок. Это может дать существенный экономический эффект не только за счет минимальной себестоимости продукции собственно земснаряда, но и по объекту в целом, на котором он работает: меньшее число используемых земснарядов, сокращение сроков строительства, более рациональное применение вспомогательной техники и т.п. Однако необходимо отметить, что работа земснаряда с максимальной производительностью не всегда обеспечивает минимальную стоимость выполняемых работ. Поэтому управление земснарядом должно сводиться к поддержанию оптимального режима, обеспечивающего наилучшие технико-экономические показатели.

Совершенно очевидно, что успешное решение сложной задачи автоматического контроля технологических параметров земснарядов может быть обеспечено только при наличии современных технических средств.

В технической литературе в настоящее время отсутствует систематизированное изложение материалов по вопросам создания и применения устройств и систем автоматического контроля основных параметров технологического процесса земснарядов. В то же время имеется большое число разрозненных статей в периодической печати, информация в книгах, описания к авторским свидетельствам на

изобретения в СССР и зарубежным патентам. Зачастую указанная информация носит констатирующий характер и не содержит анализа известных методических подходов к решению этих сложных вопросов. В ряде случаев она просто противоречива, а иногда даже ошибочна.

Предлагаемая читателю книга является попыткой систематизировать отечественный и зарубежный многолетний опыт создания устройств и систем автоматического контроля технологических параметров земснарядов. В книге использованы материалы, полученные автором при проведении исследований, связанных с разработкой научных основ новых методов и принципов построения средств автоматического контроля указанных параметров.

Ограниченный объем книги не позволил подробно описать все известные методы и реализующие их устройства автоматического контроля технологических параметров земснарядов. Поэтому материал по данному вопросу приведен в основном в виде сравнительного анализа известных методических подходов к решению тех или иных задач.

В книге описаны технические решения, которые могут быть положены в основу при разработке более совершенных моделей подобных устройств и систем, а также рассмотрены перспективные пути дальнейшего улучшения их метрологических характеристик.

Автор считает своим долгом отметить ту неоценимую роль, которую сыграл его учитель д-р техн. наук В. М. Эйгенброт в формировании научных взглядов, нашедших свое отражение в материалах книги.

Автор выражает признательность коллективам кафедры «Аппараты и приборы автоматики» Московского горного института (МГИ) и опытного промышленного предприятия (ОПП) «Промгидромеханизация» всесоюзного треста «Гидромеханизация» Минэнерго СССР за большую помощь при проведении им в 1975—1983 гг. научных исследований и разработке основ построения САКТП земснарядов. Автор благодарен канд. техн. наук В. Я. Корецкому и инж. В. Е. Сенкевичу за активное участие в исследованиях, результаты которых отражены в разделах книги, ст. науч. сотр. В. И. Папулову и инж. А. А. Смирнову за высказанные предложения, способствующие улучшению материалов книги, а также всем коллективам организаций, содействующих созданию и промышленному освоению многофункциональных САКТП земснарядов.

Список принятых сокращений

АДП — абсолютная диэлектрическая проницаемость	ЛМП — локализованное магнитное поле
АКН — автоматическая коррекция "нуля"	ПИП — первичный измерительный преобразователь
АП — адаптивно-переменная	ПТП — параметры технологического процесса
АСУ — автоматизированная система управления	РПВД — расходомер переменного перепада давления
БВП — блок вычисления производительности	САЗ — система автоматизации земснаряда
БИК — блок измерения консистенции	САКТП — система автоматического контроля технологических параметров
БК — блок контроля	СИ — средство измерения
БП — блок памяти	ТФП — твердая фаза пульпы (грунт)
БСВ — блок счета времени	ТЭП — технико-экономические показатели
БСКГ — блок счетчика количества грунта	УИС — устройство измерения скорости
БСС — блок сравнения-совпадения	УПТ — усилитель постоянного тока
БУ — блок управления	ШИМ — широтно-импульсная модуляция
ВБ — вычислительный блок	ЭМР — электромагнитный расходомер
ГСП — государственная система приборов	
ДНВ — дискретно-непрерывный вероятностный	
ЖФП — жидкая фаза пульпы (вода)	
ИП — измерительный преобразователь	
ИХГ — индикатор характера грунта	
КИП — контрольно-измерительные приборы	

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЗЕМСНАРЯДОВ

1. Земснаряд. Технологический процесс

Землесосный снаряд общего назначения представляет собой (рис. 1) плавучее основание (понтон) с установленным на нем главным рабочим органом — грунтовым насосом (землесосом), имеющим подводящий (всасывающий) и отводящий (напорный) пульпопроводы и систему вспомогательных механизмов, обеспечивающих рабочие перемещения грунтозаборного устройства в процессе разработки подводного забоя и его рыхления. С помощью папильонажных лебедок и свайных аппаратов осуществляются рабочие перемещения земснаряда по забою. Идущий от грунтового насоса напорный пульпопровод переходит в плавучий пульпопровод, состоящий из отдельных гибко соединенных между собой звеньев, к переходящий в береговой пульпопровод, по которому *пульпа* (механическая смесь грунта и воды) транспортируется к месту ее приемки (карте намыва или, например, в гидроклассификатор). На земснарядах установлены также дополнительные насосы для заливки (запуска в работу) грунтового насоса, КИП грузоподъемное, энергетическое оборудование и другое вспомогательное оборудование.

По конструктивному исполнению все земснаряды делятся на земснаряды общего назначения (для разработки песчано-гравийных грунтов на глубине 3...15 м); специального назначения (для разработки тяжелых грунтов на больших глубинах — до 45 м); с подвесным пульпопроводом (для разработки узких прорезей); разборные, эжекторные и эрлифтные [1—3].

В последние годы в связи с увеличением глубины разработки грунтов развивается перспективное направление по созданию плавучих земснарядов с погружным грунтовым насосом. При этом электропривод либо соединяется с землесосом трансмиссионным валом и располагается на раме выше уровня воды, либо устанавливается вместе с ним непосредственно под водой (моноблочный вариант). Кроме того, для выполнения подводных строительных и добычных работ создаются подводные земснаряды, позволяющие разрабатывать грунты на глубинах, достигающих 500 м.

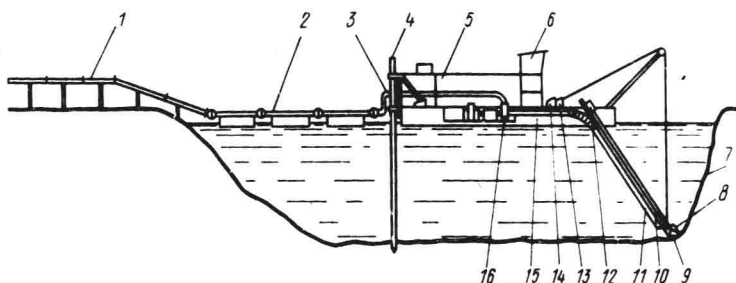


Рис.1. Конструктивная схема земснаряда

1 — береговой плъпопровод; 2 — плавучий плъпопровод; 3 — напорный плъпопровод; 4 — свайный аппарат; 5 — надстройка; 6 — рубка; 7 — подводный забой; 8 — грунтозаборное устройство; 9 — рыхлитель; 10 — рама рыхлителя; 11 — всасывающий плъпопровод; 12 — привод рыхлителя; 13 — рамподъемная лебедка; 14 — напильонажная лебедка; 15 — корпус (плавающее основание); 16 — грунтовый насос

В зависимости от вида гидромеханизированных работ с применением земснарядов реализуются те или иные известные технологические схемы их выполнения. В то же время рассмотрение технологического процесса работы самого земснаряда представляет для нас особый интерес при решении задач автоматического контроля его основных параметров.

Технологический процесс работы земснаряда можно расчленить на ряд простых операций — звеньев: разработка грунта в забое и всасывание пульпы, его гидротранспортирование и укладка (гидроотвал). Деление на звенья дает наглядную и удобную для рассмотрения явления, схему, позволяющую свести анализ весьма сложного процесса в целом к анализу частных процессов, составляющих непрерывный поток.

Разработка грунта в забое и всасывание пульпы является определяющей технологической операцией в работе земснаряда и в то же время наиболее трудно контролируемой. Земснаряд разрабатывает грунт в забое в определенной последовательности с целью получения выемки заданной конфигурации и обеспечения возможно более равномерного насыщения грунтом перекачиваемой пульпы. Заданная глубина выемки обеспечивается соответствующим опусканием грунтозаборного устройства, а ее конфигурация и размеры — направлением и последовательностью рабочих перемещений земснаряда, совершающихся при помощи канатных или свайных механизмов.

Равномерное насыщение грунтом перекачиваемой пульпы осложняется рядом известных причин, главными из которых являются меняющийся характер грунта и случайность процесса его обрушения в зоне грунтозабора. Кроме того, почти все известные способы рабочих перемещений не могут предотвратить движения грунтозаборного устройства на некотором участке забоя по уже выработанному пространству, а толщина разрабатываемого слоя грунта (из-за особенностей рельефа поверхности забоя) тоже не может сохраняться постоянной.

Подводная разработка грунта в забое обычно производится либо струями воды, всасываемой в грунтозаборное устройство, либо с помощью разного рода разрыхлительных механических устройств. От производительности рыхлителя и от взаимного расположения поверхности забоя и грунтозаборного устройства существенным образом зависит всасывающая способность последнего. Поэтому поддержание заданной объемной консистенции пульпы требует непрерывного регулирования как скорости, так и направления рабочих перемещений грунтозаборного устройства земснаряда [4].

Поддержание эффективного режима работы земснаряда (как при ручном, так и при автоматическом управлении) предопределяет в первую очередь необходимость осуществления контроля основных параметров его технологического процесса. В дальнейшем под *параметрами* мы будем понимать характеристики процессов грунтозабора и гидротранспортирования грунта земснаряда, подлежащие непрерывному измерению (консистенция пульпы, скорость ее твердой фазы и расход последней, вакуум, давление и т. п.).

Гидротранспорт грунта представляет собой одну из важнейших частей технологического процесса работы земснаряда.

Частицы грунта в потоке пульпы (гидросмеси) находятся под воздействием собственного веса, который сообщает частице определенную скорость падения, и взвешивающей силы, являющейся функцией от вертикальной составляющей в турбулентном потоке, и продольной силы, зависящей от средней скорости потока вдоль трубы.

Известно, что, в зависимости от гранулометрического состава ТФП, угля пульпопровода и скоростного режима движения потока пульпы, грунт по его сечению распределяется неравномерно, причем основной объем грунта перемещается в нижней части сечения пульпопровода. Дви-

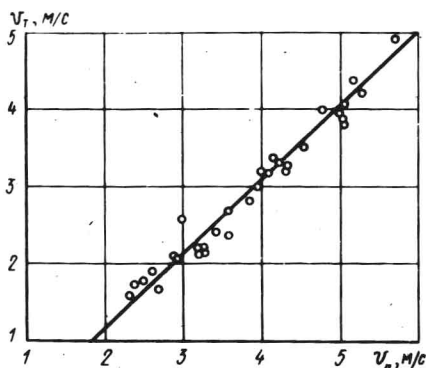


Рис.2. Зависимость $v_t = f(v_n)$, полученная в Институте гидромеханики АН УССР для горизонтальных пульпопроводов диаметром 100, 200 и 300 мм

жение воды и грунта в потоке пульпы подчинено различным законам. Вода обладает энергией, определяемой перепадом давления, создаваемого землесосом. В то же время частицы грунта перемещаются в потоке в основном за счет взаимодействия с частицами воды, передающими им часть своей энергии. Последнее и предопределяет тот факт, что средняя скорость движения твердых частиц в потоке пульпы v_t отличается от средней скорости движения жидкости (воды) v_n [5—8], причем разница скоростей может достигать 10...40% средней скорости движения пульпы v_n (рис. 2), а по некоторым данным, она еще более значительна. Так, на основании исследований Института гидрологии и гидротехники АН УССР, выполненных на гидросмесях, содержащих песок крупностью 0,2...0,5 мм, зависимость между значениями указанных скоростей определяется выражением $v_t = (0,4...0,6) v_n$. Приведенные сведения еще раз подтверждают необходимость учета разницы указанных скоростей при автоматическом контроле основных параметров потока пульпы [9, с. 34].

В то же время следует отметить, что коэффициент, связывающий между собой величины скоростей, в естественных условиях работы земснаряда зависит от ряда факторов, влияние которых практически невозможно учесть из-за изменения гранулометрического состава твердой фазы пульпы, ее консистенции, средней скорости движения и наклона участка пульпопровода [8; 9, с. 116]. Положение усугубляется еще и тем, что указанные факторы могут меняться в широких пределах. Например, консистенция пульпы для песчано-гравийных пород может принимать значения в пределах 0...20% и более, при этом диаметр частиц ТФП — 0,05...40 мм, а v_n — 2,8...8,0 м/с соответственно

для пульпопроводов с внутренним диаметром 0,15...0,9 м [8].

Таким образом, движение пульпы следует рассматривать не как движение какой-то условной однородной среды, а как движение механической смеси воды и твердого материала. Твердое тело движется в горизонтальном потоке со скоростью меньшей, чем вода. Поэтому для горизонтальных потоков пульп, как и для восходящих, справедливо следующее неравенство: $v_{\text{н}} > v_{\text{п}} > v_{\text{т}}$. Для восходящего в вертикальном трубопроводе потока пульпы специфичным является гораздо большее, чем в горизонтальном трубопроводе, отставание твердых частиц от жидких, причем при малых скоростях движения пульпы отставание ее твердой фазы от воды более ощутимо в трубах большого диаметра. Эффект отставания твердой фазы пульпы приводит к значительному увеличению величины действительной (мгновенной) консистенции по сравнению с расходной.

В трубопроводах с нисходящим потоком пульпы ее действительная консистенция ниже расходной, так как в этом случае твердые частицы движутся быстрее жидких. Указанное существенным образом влияет на точность определения ПТП земснаряда при их автоматическом контроле.

Скоростной режим является одним из основных факторов, влияющих на транспортирующую способность потока пульпы при гидротранспорте разрабатываемого земснарядом грунта. Снижение скорости ведет к осаждению транспортируемого твердого материала и забивке пульпопровода, а ее повышение — к увеличению затрат энергии, так как сопротивление движению возрастает пропорционально квадрату скорости. Поэтому выбор оптимального скоростного режима потока пульпы позволяет транспортировать ее с требуемой консистенцией, с минимальными затратами энергии и износом оборудования.

В практике рекомендуется принимать скорость потока пульпы равной (1,06...1,2) $v_{\text{н.кр}}$ — критической скорости, предшествующей началу осаждения частиц из движущегося потока [8].

Скоростной параметр потока пульпы и ее консистенция определяют величину объемного расхода твердой фазы (транспортируемого грунта) или *текущую объемную производительность земснаряда по грунту* ($\text{м}^3/\text{ч}$).

В ряде литературных источников [8, 10] ошибочно определяют текущую объемную производительность земснаряда по грунту следующим выражением:

$$q_{\text{т}} = K_{\text{т}} Q_{\text{п}} = K_{\text{в}} v_{\text{п}} S_{\text{п}}, \quad (1)$$

где K_v — объемная консистенция пульпы; Q_n — объемный расход пульпы, м³/ч; S_n — площадь сечения пульпопровода.

Как следует из выражения (1), для определения q_T необходимо непрерывно измерять два технологических параметра потока — K_v и v_n . Однако это правомерно при одном условии, что $v_n = v_T$. Проведенный анализ показывает, что использование выражения (1) для вычисления текущей объемной производительности земснаряда по грунту приводит к существенной погрешности, величину которой учесть однозначно практически невозможно.

Для сведения к минимуму указанной погрешности при вычислении q_T необходимо измерять среднюю скорость движения твердой фазы потока пульпы [9, с. 53]. При этом будет справедливо следующее выражение [7, 11]:

$$q_T = K_v v_n S_n. \quad (2)$$

Таким образом, для определения величины q_T надо непрерывно измерять два технологических параметра гидротранспортного потока: объемную мгновенную консистенцию пульпы и среднюю скорость движения ее твердой фазы.

Движение гидросмеси представляет собой случайный процесс. Вдоль продольной оси потока z (рис. 3) наблюдается изменение консистенции, вызванное в основном неравномерностью загрузки пульпопровода грунтом и его перемешивания при движении. Поле скоростей также неравномерно по поперечному сечению. Имеются пульсации скорости в основном вдоль осей z и y , эпюра средних значений скоростей вдоль оси z искажена.

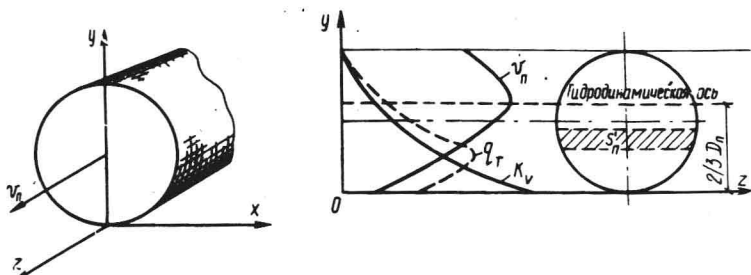


Рис.3. Эпюры распределения консистенции K_v , скорости движения пульпы v_n и расхода твердой фазы пульпы q_T , осредненных в единичных площадях S_n^* поперечного сечения потока

Расход пульпы вследствие неразрывности потока сохраняется вдоль оси z , однако расход твердого материала, как и расход жидкости, меняется от сечения к сечению. Естественно, что при этом меняется также и консистенция пульпы.

С ростом крупности твердых включений растет амплитуда и уменьшается частота изменений средней по сечению потока консистенции, средних скоростей жидкой и твердой фаз пульпы. При дальнейшем увеличении крупности твердых частиц, наряду с уменьшением частоты и ростом амплитуды колебаний консистенции, поперечной и продольной составляющих скоростей, появляется составляющая относительно высокочастотных колебаний, вызванная увеличением дискретности среды. Увеличивается разность скоростей жидкой и твердой фаз потока.

Распределение консистенции пульпы вдоль оси z потока имеет волнообразный вид с длиной волны, характерной для данного режима гидротранспортирования. Изменения скоростей u_s и u_t вдоль оси z носят такой же характер, что и консистенции. Амплитуда колебаний скорости связана со средней консистенцией и физическими свойствами твердой фазы.

Таким образом, в общем виде процесс движения пульпы может быть описан как многомерный нестационарный случайный процесс в функции координат x, y, z и времени t [12].

Указанное обстоятельство предопределяет особые требования к измерению контролируемых параметров потока пульпы земснаряда.

Укладка разработанного земснарядом грунта является завершающей операцией в технологическом процессе с использованием земснаряда. В строительстве намыв грунта производится при устройстве площадок и оснований профильных земляных сооружений (плотин, дамб, дорожных насыпей и т. п.), при заполнении грунтом пазух сооружений, траншей и котлованов, при складировании нерудных ископаемых и т. д. Намыв может осуществляться и под воду, что особенно важно при выполнении гидротехнических работ [1].

При намыве грунта в тело ответственного сооружения (например, плотины) обычно требуются раскладка грунта по фракциям и определение плотности намыва. В этих целях необходимо контролировать консистенцию, скоростной режим поступающего грунта и текущую производительность земснаряда по грунту. Определение послед-