



УДК 681.121.845

**Б.С. Ахметов, Ф.У. Маликова**

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**П.Т. Харитонов**

Пензенский государственный университет, г. Пенза

#### ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ

Вопросы повышения точности контроля расхода топлива мощными транспортными средствами – тепловозами, большегрузными автомобилями, теплоходами, авиакосмическими аппаратами – являются очень актуальными. При существующих на мировом рынке объемах потребления углеводородного топлива и ценах на него, повышение точности контроля его расхода даже на доли процента эквивалентно экономии в сотни миллионов долларов. Также актуальна задача повышения точности дозирования жидкостей составляющих в различных технологических процессах изготовления стратегических материалов, лекарственных препаратов и т.д., поскольку эта точность напрямую связана с качеством конечного продукта.

Современная измерительная техника интенсивно насыщается микрокомпьютерными техническими средствами, которые открывают возможности повышения точности измерения за счет цифровой компенсации основных и дополнительных погрешностей на конечный результат [1]. В то же время при недостоверной функции корреляции измеряемого параметра и дестабилизирующих факторов применение ИТ-технологий не приносит желаемого эффекта.

*Методы измерения объемного расхода жидкостей* можно условно разделить на прямые и косвенные, или скоростные.

К прямым методам измерения объемного расхода жидкостей относятся метод мерных емкостей и метод мерного гидроцилиндра.

Методы косвенного, в основном *скоростного* метода измерения объемного расхода, возникли и находят практическое применение с развитием электрических методов измерения. Их основная область использования – реализация непрерывного автоматизированного отсчета объемного расхода жидких и газообразных сред. В зависимости от варианта реализации разновидностями скоростного метода измерения объемного расхода являются: дроссельный и индукционный методы, метод обтекания или ротаметра, калориметрический и ультразвуковой методы, метод с использованием силы Кориолиса и гидродинамический метод.

Общим для этих методов является отсчет объема жидкости, протекающей через известное сечение с той или иной скоростью  $\vartheta$ , значение которой и определяют по параметрам текучей среды, имеющим жесткую корреляцию со скоростью потока. Значение объемного расхода жидкости определяют по известной формуле

$$V = S \cdot \vartheta \cdot t,$$

где  $V$  – объем жидкости;  $S$  – площадь сечения, через которое движется поток;  $\vartheta$  – скорость течения жидкости;  $t$  - время отсчета. Значения  $S$  и  $t$  могут быть заданы и определены

ны с высокой точностью, чего не скажешь о значении скорости  $\vartheta$  потока, определение которой возможно перечисленными выше косвенными методами.

Подробная классификация наиболее распространенных методов измерения объема или объемного расхода жидкостей представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Классификация методов измерения объемного расхода жидкостей

*Метод мерных емкостей* известен несколько тысячелетий и заключается в отмеривании жидкости с помощью емкости заведомо известного объема, например до краев заполненных амфоры или ковша. Значительно позже, с освоением технологии изготовления сосудов из стекла, появились мерные сосуды с нанесенными на стекло делениями. С их помощью стало возможно отмеривать жидкости по уровню мениска относительно делений. По причине обеспечения высокой точности отмеривания жидкостей метод мерных емкостей применяется в метрологии и современной практике ручного смешивания и при изготовлении различных растворов и лекарств с помощью стеклянных мензурок и цилиндрических мерных емкостей с делениями.

До появления электрических средств измерения метод мерных емкостей являлся безальтернативным методом измерения объема жидкостей. Архимед, например, в 250 - 212 годах до новой эры [2] использовал этот метод в своих опытах по экспериментальному подтверждению закона о выталкивающей силе, действующей на тела, погруженные в жидкость. Метод используется до настоящего времени для создания проверочных средств измерения объемного расхода жидкостей, поскольку позволяет обеспечить высокую точность измерения.

Широкое применение объемного метода для измерения объемного расхода жидкостей в системах управления и контроля затруднено из-за практического отсутствия технических средств, обеспечивающих непрерывный прямой автоматизированный отчет объемного расхода. Требование повышения производительности автоматизации процесса контроля объемного расхода жидкостей стимулировало поиск альтернативных вариантов – косвенных методов измерения.

Первый из этих методов – *дроссельный метод* – заключается в измерении расхода жидкостей, газа и пара, при котором скорость потока определяют по перепаду давления в сужающем устройстве. Данный метод измерения расхода основан на зависимости пере-

пада давления в неподвижном сужающем (дросяльном) устройстве, устанавливаемом в трубопроводе, от расхода измеряемой среды [3].

Объемный расход  $G_0$  в этом случае определяют по известной формуле

$$G_0 = CEf \left[ \frac{2}{\rho(P_1 - P_2)} \right]^{0.5},$$

где  $E$  – коэффициент входа;  $C$  – коэффициент истечения. Оба эти коэффициента зависят от соотношения минимальной площади  $f$  сужающего устройства и скорости потока, имеющего объемную плотность  $\rho$ . Создаваемый в сужающем устройстве перепад давления ( $P_1 - P_2$ ) измеряется дифманометром, который может быть показывающим со шкалой в единицах расхода. При необходимости дистанционной передачи показаний дифманометр снабжается преобразователем, который соединяется со вторичным прибором и другими устройствами.

Данный метод измерения расхода является наиболее отработанным, сужающие устройства и дифманометры для них выпускают все крупнейшие приборостроительные фирмы мира [4]. Метод в основном используется для измерения расхода пара, газа, жидкостей в трубопроводах диаметром выше 300 мм. Рассматриваемый принцип измерения заключается в том, что при протекании потока через отверстие сужающего устройства повышается скорость потока по сравнению со скоростью до сужения. Увеличение скорости, а следовательно, и кинетической энергии вызывает уменьшение потенциальной энергии и соответственно статического давления. Расход может быть определен при известной градуировочной характеристике по перепаду давления на сужающем устройстве, измеренному дифманометром. Расчеты значений объемного расхода по показаниям дифманометра осуществляются с помощью микропроцессорных средств.

Использование рассматриваемого метода измерения требует выполнения определенных условий:

- характер движения потока до и после сужающего устройства должен быть турбулентным и стационарным;
- поток должен полностью заполнять все сечение трубопровода;
- фазовое состояние потока не должно изменяться при его течении через сужающее устройство;
- во внутренней полости трубопровода до и после сужающего устройства, а также на его калиброванном отверстии не должны образовываться осадки и другие виды отложений, влияющие на его сечение.

*Индукционный метод* контроля расхода жидкостей основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная скорости движения жидкости. Метод состоит в измерении ЭДС, индуцируемой потоком электропроводной жидкости, пропорциональной скорости потока жидкости в трубопроводе, т.е. ее расходу [5].

Индукционные расходомеры применяют для измерения расхода электропроводных агрессивных, вязких, абразивных сред, пульп и жидких металлов. Серийные электромагнитные расходомеры предназначены для измерения расхода жидкостей с электропроводностью не менее  $10^{-3}$  см/м (соответствует электропроводности водопроводной воды). Имеются специальные расходомеры, позволяющие измерять расход жидкостей с электропроводностью до  $10^{-5}$  см/м. В настоящее время электромагнитные расходомеры – широко распространенные приборы для измерения расхода воды в трубопроводах диаметром менее 250 мм. К числу недостатков электромагнитных расходомеров следует отнести

требования к минимальному значению электропроводности измеряемой среды, что сужает круг использования таких расходомеров. Другой их недостаток – низкий уровень информативного сигнала, измеряемого микровольтами, что обуславливает необходимость тщательной защиты преобразователя и линий связи от внешних помех.

*Метод обтекания или ротаметра.* Расходомеры постоянного перепада давления также называют расходомерами обтекания, к ним относятся ротаметры, поршневые и поплавковые расходомеры. Метод обтекания основан на измерении вертикального перемещения поплавка в зависимости от расхода вещества, обтекающего поплавок в конусообразной камере прибора [6]. Каждому значению расхода соответствует определенное положение поплавка: чем больше расход, тем выше расположен поплавок. Противодействующей силой в этих приборах является вес поплавка. Перепад давления среды на ротаметре постоянен, поэтому ротаметры называют расходомерами постоянного перепада.

В приборах этого типа в зависимости от величины измеряемого расхода изменяется площадь кольцевого отверстия истечения между поверхностями поплавка и конусообразной камеры, а перепад давления до и после отверстия истечения остается постоянным. Противодействующей силой является сила тяжести чувствительного элемента, выполняемого в виде поплавка или поршня. Ротаметры, широко применяемые в лабораторных и промышленных условиях, предназначены для измерения плавно меняющегося объемного расхода однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов с возможными дисперсными включениями инородных частиц. Они применяются также в качестве индикаторов расхода среды в газоанализаторах и других приборах.

Ротаметр состоит из конусообразной, расширяющейся кверху, чаще всего стеклянной (для прозрачной среды) или металлической трубы с поплавком. На поверхности поплавка сделаны винтовые канавки для его вращения вокруг своей оси за счет относительного перемещения потока; благодаря этому поплавок не касается стенок трубы, что исключает влияние сил трения на высоту его расположения. Под действием потока жидкости или газа поплавок вертикально перемещается, одновременно приходит во вращательное движение и центрируется в середине потока. По перемещению поплавка ротаметра вдоль его шкалы, нанесенной на конусной стеклянной трубке, судят об объемном расходе в единицу времени (л/ч, м<sup>3</sup>/ч). Существуют ротаметры, у которых поплавок не совершает вращательного движения. Возможен вариант ротаметров с электрическим выходом, если оснастить устройство датчиком положения поплавка в конусообразной камере. Однако микропроцессорная обработка электрических сигналов с датчика положения поплавка не обеспечивает повышения точности измерения, ограниченной влиянием проводимости, плотности и вязкости контролируемой жидкости.

Измерение расхода жидкостей и газов *калориметрическим методом* основано на уносе тепла и снижении температуры нагреветого тела потоком жидкости или газа. В качестве нагреветого тела используется датчик температуры, подогреваемый постоянным током [7]. Калориметрический метод использует принцип измерения переноса/уноса тепла потоком жидкости от нагревателя к температурному/от температурного датчику. Калориметрические датчики скорости потока, часто именуемые термоанемометрами, лучше работают при малых скоростях потока жидкости или газа (порядка 30-3 000 см/с для газов), при которых нерационально применение датчиков, работающих на принципе перепада давления. Достоинством калориметрических датчиков измерения давления является компактное исполнение, позволяющее проводить измерение в самых малых диаметрах трубопроводах, отсутствие подвижных частей и большой динамический диапазон. К основным недостаткам можно отнести зависимость показаний от резких скачков температуры измеря-

емой жидкости и в случае резких изменений свойств жидкости, например изменение плотности или теплопроводности. При обработке выходных сигналов используются ИТ-технологии, однако горизонт повышения точности измерений термоанемометрами уже выбран и ограничен существенными погрешностями от изменения плотности и теплопроводности контролируемой среды.

*Ультразвуковой метод измерения объемного расхода* основан на свойствах распространения ультразвука в жидкости. В результате ультразвукового измерения можно получить среднюю скорость жидкости, которая определяется по скорости распространения и фазе ультразвуковых волн. Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на измерении зависящего от расхода того или иного акустического эффекта, возникающего при прохождении ультразвуковых колебаний через контролируемый поток жидкости или газа [8].

В последнее время используются две разновидности ультразвуковых расходомеров: основанные на перемещении ультразвуковых колебаний движущейся средой и допплеровский.

Наибольшее распространение получила первая группа приборов. В таких расходомерах ультразвуковые колебания, создаваемые пьезоэлементами, направляются по потоку жидкости и против него. Разность времен прохождения ультразвуковыми импульсами расстояния между излучателем и приемником по потоку и против потока пропорциональна скорости потока, т.е. скорость распространения ультразвука относительно стенок трубы зависит от скорости потока. Основные трудности использования ультразвукового метода связаны с тем, что скорость ультразвука в среде зависит от физико-химических свойств последней: температуры, давления. Эти зависимости значительно больше зависимости от скорости среды, так что действительная скорость ультразвука в движущейся среде мало отличается от скорости в неподвижной среде. Ультразвуковое измерение выполняется с помощью двух пьезоэлектрических преобразователей, помещенных по разные стороны трубы на расстоянии (вдоль оси трубы), по крайней мере, 100 мм друг от друга; они могут работать как в режиме излучения, так и в режиме отражения. Без применения специальных технических и программных решений обработка выходных сигналов ультразвуковых датчиков затруднительна.

*Метод с использованием сил Кориолиса (расходомеры Кориолиса).* Во вращающейся системе на массу, движущуюся вдоль радиуса, действует сила, называемая силой Кориолиса. Направление этой силы перпендикулярно оси вращения и направлению движения массы, а ее величина пропорциональна скорости вращения и радикальной скорости массы. Для жидкостей неизменного химического состава расходомеры дают хорошие результаты, не требуя компенсации давления и температуры. В изогнутом по окружности участке трубопровода с помощью электромагнита возбуждаются колебания, резонансные собственной частоте трубы или частоте какой-либо ее гармоники. На входе и выходе трубопровода симметрично по отношению к электромагниту размещены приемники для определения фазы колебаний трубы. На любой элемент жидкости, текущей по трубе, будет действовать боковое ускорение. Из-за конечного значения добротности этого элемента колебания на входе будут затухать. По мере прохождения элемента жидкости по трубе, он передает ей накопленную энергию, и ее колебания на выходном конце усиливаются. Фазы сигналов, измеренных на входе и выходе участка трубопровода, будут различаться; разность фаз прямо пропорциональна массовому расходу. Датчики расхода, построенные в соответствии с принципом Кориолиса, очень мало влияют на потери давления в трубопроводах. Одно и то же устройство может применяться для измерения и расхода, и плот-

ности. Для измерения плотности жидкости определяется собственная частота колебаний заполненного участка трубопровода, которая обратно пропорциональна плотности жидкости. Для жидкостей неизменного химического состава расходомеры Кориолиса обладают малой погрешностью измерения (на уровне 0,5 % от измеряемой величины). Однако эти расходомеры чувствительны к вибрациям и имеют ограничения по способам их установки по отношению к центру тяжести Земли. Расходомеры Кориолиса не имеют подвижных деталей, их выходные сигналы обрабатываются с применением электронных согласующих и обрабатывающих схем [9]. При обработке выходных сигналов расходомеров Кориолиса находят применение микропроцессорные устройства, которые однако не обеспечивают снижения погрешностей от изменения химического состава потока, вибраций, плотности и вязкости контролируемой жидкости.

*Гидродинамический (тахометрический) метод* основан на контроле движения тела той или иной формы в потоке жидкости. Тахометрическими называются расходомеры и счетчики, имеющие подвижной, обычно вращающийся элемент, скорость движения которого пропорциональна объемному расходу. Они подразделяются на турбинные, крыльчатые, шариковые, роторно-шаровые и камерные. Иногда крыльчатки называют турбинками, различаются они конструкцией лопаточного аппарата и подачей потока. Данные приборы могут обеспечить высокую точность измерения при постоянной вязкости и плотности жидкости. Так, погрешность у некоторых из них составляет всего  $\pm 0,5\%$  при отсутствии в жидкости загрязнений и механических примесей [10].

Во всех рассмотренных и иных, в том числе экзотических вариантах скоростного метода измерения объемного расхода [11], имеют место сложные и многопараметровые взаимосвязи фактического объема и косвенно определяемой скорости протекания жидкости. Как правило, те или иные аналитические зависимости измеряемого датчиками параметра и фактического объема жидкости являются справедливыми в достаточно узком диапазоне влияющих величин. Изменение состава, физико-химических и электрических свойств контролируемой жидкости, а также параметров первичных преобразователей, как правило, напрямую ведут к росту погрешности измерения. Снижение погрешностей измерения объемного расхода жидкостей косвенными методами требует использования измерительных систем с разнопараметровыми датчиками влияющих параметров и расчета объемного расхода по идеализированным аналитическим зависимостям.

Прямой метод измерения объемного расхода жидкостей с использованием мерных емкостей и объемов [12-16] позволяет существенно повысить точность измерения. В то же время практическое применение этого метода ограничено образцовыми средствами измерения из-за малой производительности и наличия ручных операций. Во второй части настоящей работы будут детально рассмотрены результаты исследований по построению вариантов автоматизированных измерителей объемного расхода жидкостей.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее распространенные методы косвенного измерения объемного расхода имеют существенные ограничения в части обеспечения высокой точности при вариациях физического, химического состава измеряемой среды.
2. Прямой метод измерения является перспективным с точки зрения повышения точности измерения объемного расхода жидкостей.
3. Необходимы разработка и применение аппаратной и программной части измерителей объемного расхода жидкостей с целью повышения точности и производительности контроля расхода жидких сред.

- Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под общ. ред. д.т.н., проф. Е.П. Осадчего. - М.: Машиностроение, 1979. - Гл. 1.
- Кудрявцев П.С. Курс истории физики: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ. спец. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Просвещение, 1982. - 448 с.
- Древецкий В.В. Измерение физико-механических параметров жидкостей с использованием дроссельных преобразователей. - Нац. авиационный ун-т. - Украина, 2012 / Сайт: <http://www.rusnauka.com>.
- Дифференциальные манометры группы компаний «Промприбор/Теплоприбор» / Сайт: <http://terpokip.narod.ru>.
- Расходомеры индукционные. Сайт: <http://megapaskal.ru>.
- Ротаметр - поплавковый расходомер переменного сечения / Сайт: <http://www.hroelektro.ru>.
- Горлин С.М. Аэромеханические измерения / С.М. Горлин, И.И. Слезингер. - М., 1964.
- Ультразвуковые расходомеры / Сайт: <http://flowmeter.pp.ua>.
- Расходомеры Кориолиса / Сайт: <http://www.rospribor.com>.
- Приборы для измерения и контроля расхода // Энциклопедия КИП и А. - Раздел 4.4 / Сайт: <http://www.kip-guru.ru>.
- Kinghorn F.C. Challenging areas in flow measurement / Measurement and Control, 1998. - № 8.
- Пат. RU № 2282828 от 27.02.2006. Устройство для измерения объемного расхода топлива / П.Т. Харитонов.
- Патент RU № 2323365 (патентообладатель П.Т. Харитонов) от 27.04.2008. Способ и устройство для измерения объемного расхода топлива двигателями внутреннего сгорания / Б.Л. Свистунов, П.Т. Харитонов.
- Свистунов Б.Л. Измеритель объемного расхода жидкостей методом мерного гидроцилиндра: Сб. реф. статей и тезисов докл. МНТК и выставки «INVENTIKA 2010». / Б.Л. Свистунов, П.Т.Харитонов - Румыния, Яссы, июнь 2010. - С. 107.
- Ахметов Б.Б. Измеритель объемного расхода жидкости / Б.Б. Ахметов, П.И. Артамонов, П.Т. Харитонов // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. - 2012. - № 4.
- Артамонов П.И. Преобразователь перемещений поршня расходомера жидкости в унифицированный сигнал с емкостным датчиком, использующим принцип временной избыточности /П.И. Артамонов, Ф.У. Маликова, П.Т. Харитонов //Сб. тр. МНПК «Современная наука: реальность и перспективы». - Липецк, 18 февр. 2013 г. - С. 123-129.

References

- Design of sensors for measuring mechanical quantities. Under the general editorship of Prof. Osadchy // M., Mechanical Engineering, 1979. - ch. 1.
- Kudryavtsev P.S. Course the history of physics: Textbooks for students educational institutes on nat. specials. - 2nd ed., Rev. and add. - M.: Education, 1982. - 448.
- Drevetskiy V.V. Measuring physical and mechanical properties of liquids using throttle converters. National Aviation University, Ukraine, in 2012. Website: <http://www.rusnauka.com>.
- Differential Pressure Gauges Group "Promprylad / Teplopribor." Website: <http://teplokip.narod.ru>.
- Induction flowmeters. Website: <http://megapaskal.ru>.
- Rotameter-Float flowmeter variable section. Website: <http://www.hroelektro.ru>.
- Gorlin S.M., Slezinger I.I. Aeromechanical measurement, M., 1964 .
- Ultrasonic flowmeters. Website: <http://flowmeter.pp.ua>.
- Coriolis flowmeters. Website: <http://www.rospribor.com>.
- Measurement and flow control. Encyclopedia of Instrumentation and Section 4.4. Website: <http://www.kip-guru.ru>.
- Kinghorn F.C. Challenging areas in flow measurement / Measurement and Control, 1998. - № 8.
- Kharitonov P.T. Device for measuring the volumetric flow of fuel. Patent RU № 2282828 from 27.02.2006.
- Whistlers B.L., Kharitonov P.T. A method and device for volumetric measurement of fuel consumption by internal combustion engines. Patent RU № 2323365 (patent Kharitonov PT) on 27.04.2008.
- Whistlers B.L., Kharitonov P.T. Measuring the volume flow of liquids by dimensional cylinder . Collection of abstracts of articles and abstracts IRTC Exhibition «INVENTIKA 2010». Romania, Iasi, June 2010. - p. 107 .
- Akhmetov B.B., Artamonov P.I., Kharitonov P.T. Measuring volumetric flow rate // Vestnik KazNT by namedi K. Satpayev. - 2012. - № 4.
- Artamonov P.I., Malikov F.W., Kharitonov P.T. Preobrazovatel displacement piston flow of fluid in a unified signal to the capacitive sensor using the principle of

temporal redundancy / / Proc. PBMCS works "Modern Science: Reality and Prospects. Lipetsk, Feb. 18, 2013. - P. 123-129.

Получено 03.04.2014

УДК 624.012:626

**И.А. Суюнбекова**

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, г. Бишкек

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОТИН  
НА СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА MATLAB**

Климатические условия большей части Кыргызстана приводят к тому, что при эксплуатации гидротехнических сооружений возникают проблемы, связанные с обмерзанием металлических конструкций и их элементов. Особенно это относится к высокогорным зонам, где рентабельно сооружение малых ГЭС, но морозный период не менее 6-8 месяцев (с октября по апрель). Зимой деривационные гидроэлектростанции страдают из-за шугообразования, обмерзания механического оборудования (в частности затворов водозаборных сооружений), забивки льдом водопроводящих трактов, а также неправильной эксплуатации сооружений ГЭС [1].

Эти задачи решаются на стыке различных научных и информационных методов, поскольку требуют обобщения разнообразной информации, подходов к учету комплекса гидрологических, водохозяйственных, экономических, экологических, юридических вопросов оптимизации использования водных ресурсов рек. Следовательно, для накопления и хранения научных данных, систематизированной обработки имеющейся информации, проектирования математических моделей, анализа и выдачи правильного решения, требуется использование мощных компьютерных интернет-технологий, основанных на информационных системах, базах знаний и экспертных системах. Использование таких технологий приводит к достаточно полному и глубокому исследованию технической эксплуатации гидро сооружений. Одной из главных задач при проектировании гидротехнических сооружений является расчет на прочность и устойчивость.

Нарушение устойчивости плотины и ее смещение могут произойти вследствие: сдвига сооружения при нарушении контакта его с основанием или по принципам или ослабленным зонам основания; разрушения скального массива основания под действием развивающихся в нем напряжений (рис. 1).

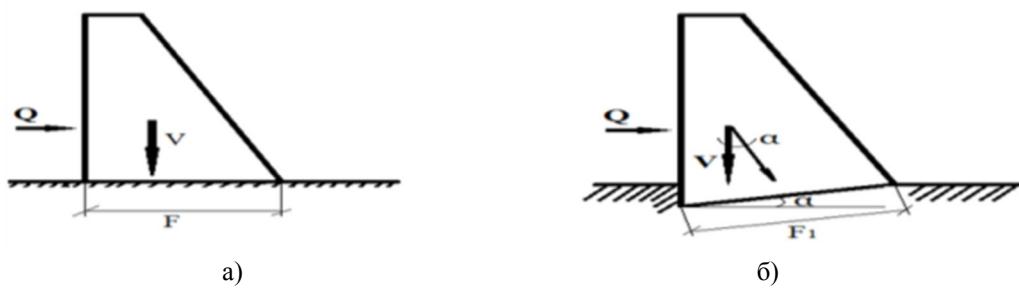


Рисунок 1 - Схемы к расчету устойчивости плотины на сдвиг

Сдвиг плотины по скальному основанию может произойти в случае нарушения сдвиговой прочности контакта ее с основанием, которая описывается теорией Кулона-Мора:

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma \tan \varphi + c. \quad (1)$$

Соответственно условие прочности запишется в виде  $\tau \leq \tau_{\text{пр}}$ . И, учитывая коэффициенты предельного состояния, получим:

$$k_h n_c \sum Q \leq (\sum P \tan \varphi + cF)m, \quad (2)$$

где  $\sum P$  и  $\sum Q$  – расчетные равнодействующая сдвигающих сил и равнодействующая нормальных к плоскости сдвига сил;  $\tan \varphi$  и  $c$  – параметры сдвиговой прочности основания (для скальных оснований – соответственно коэффициент трения и удельное сцепление);  $F$  – площадь поверхности сдвига.

Расчетные значения параметров сдвиговой прочности скального основания  $\tan \varphi$  и  $c$  определяют для оснований сооружений I и II классов по результатам полевых или лабораторных испытаний, проводимых методом сдвига бетонных штампов или скальных целиков. Для оснований сооружений III и IV классов, а также для сооружений всех классов на стадии технико-экономического обоснования строительства нормами (СНиП 2.02.02-85) используются расчетные значения  $\tan \varphi$  и  $c$ .

Если плоскость сдвига наклонена под углом  $\alpha$  к горизонту, то формула устойчивости плотины имеет вид:

$$k_h n_c (Q \cos \alpha - V \sin \alpha) \leq [(V \cos \alpha + Q \sin \alpha) \tan \varphi + cF]m. \quad (3)$$

Применение MATLAB позволяет построить математическую модель расчета устойчивости плотины, по которой можно анализировать стабильную работу плотины (рис.2).

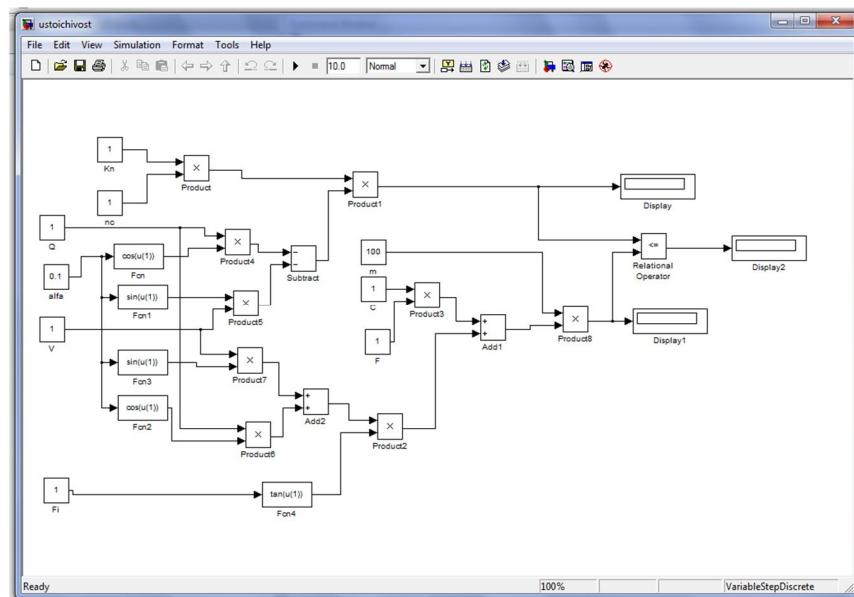


Рисунок 2 - Модель устойчивости плотины

При изменении начальных условий сдвига плотины относительно основания (параметры  $V$ ,  $C$ ,  $\alpha$ ,  $F$ ,  $m$ ) и запуске математической модели равновесия плотины на Simulink в дисплеях 1 и 2 отражаются параметры, при которых возможна стабильная работа плотины.

Эту модель можно применять в случае устройства зубчатой поверхности основания с наклоном зубьев под углом  $\alpha$  к горизонту. Отношение наклона зубьев  $\alpha$  к сдвиговой прочности плотины показано на рис. 3.

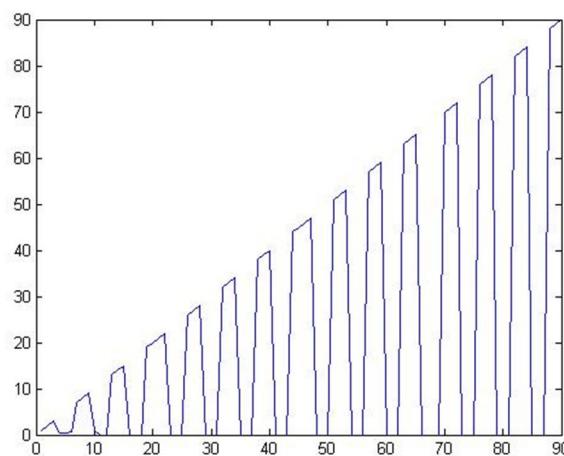


Рисунок 3 - Отношение наклона зубьев  $\alpha$  к сдвиговой прочности плотины

Формула расчета длины отлета струи в зависимости от наклона зубьев и скорости водяного потока приведена ниже:

$$L = k_a \frac{v_1^2}{2g} \sin 2\alpha \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2h_{\text{п}}g}{v_1^2 \sin^2 \alpha}} \right), \quad (4)$$

где  $k_a$  – коэффициент, учитывающий влияние аэрации на дальность отлета струи;  $\alpha$  – угол наклона зубьев;  $v_1$  – скорость схода воды.

Построение модели отлета струи в нижнем бьефе и анализ результатов определяет возможность оптимального отклонения водной струи и размер ямы размыва. Результат изменения длины отлета от угла наклона носка представлен на рис. 4.

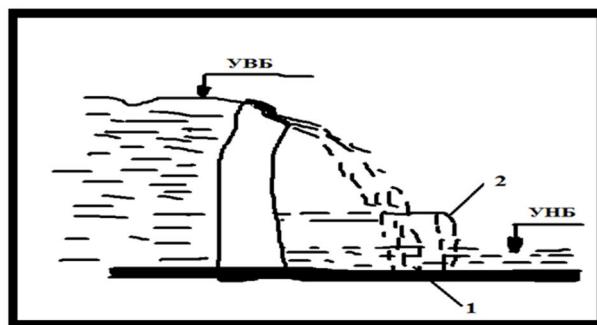


Рисунок 4 - Свободно падающая струя на арочной плотине

Модель отлета струи построена с помощью встроенного в MATLAB пакета Simulink. Таким образом, построена часть математической модели гидротехнического сооружения. С помощью графического программирования в пакете Simulink возможно строить сложные действующие модели сооружений, осуществлять комплексный подход к решению задач проектирования гидротехнических сооружений.

При задании параметров расчета отлета струи и использовании модели расчета возможно получить теоретическую зависимость длины отлета струи при различном угле отлета (рис. 5).

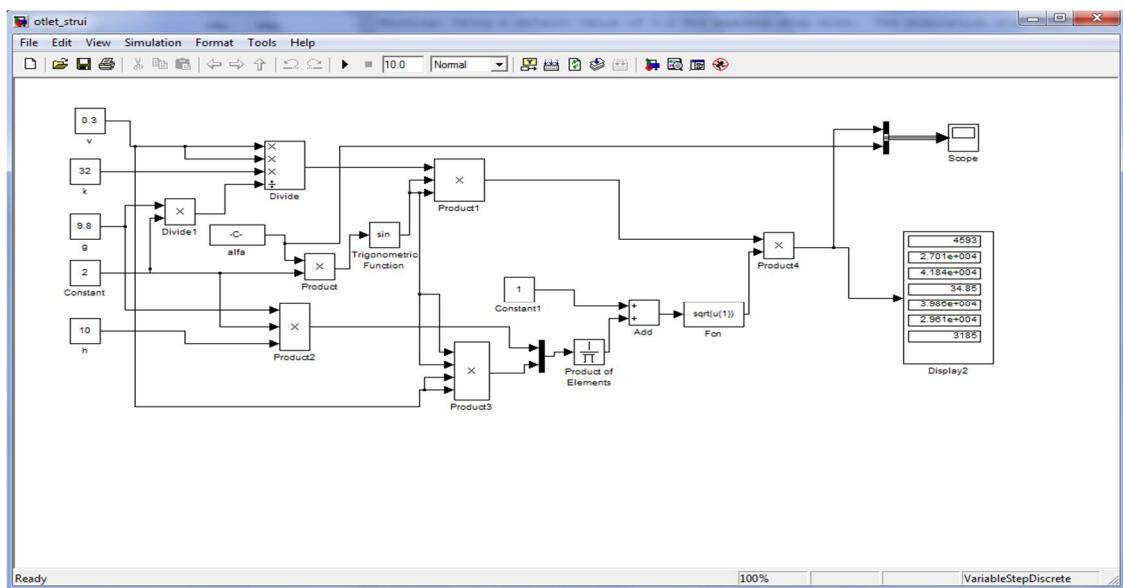


Рисунок 5 - Модель длины отлета струи

Графики изменения длины отлета струи позволяют более полно проанализировать изменение длины струи от наклона носка, т.к. дальность отбраса струи от сооружения связывается с возможностью обеспечения его безопасной эксплуатации, что наглядно показывают построенные графики. Если представить информацию в трехмерной плоскости, то можно получить наиболее насыщенную картину результатов вычислений отлета струи по результатам просчета выражений (рис. 6).

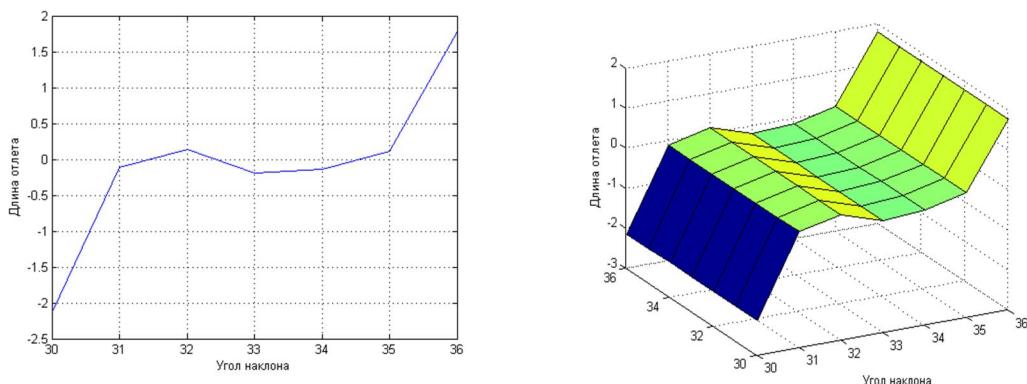


Рисунок 6 - Зависимость длины отлета струи от угла наклона носка

#### Список литературы

1. Валянов А.П. Затворы водозаборных сооружений на горных реках Кыргызстана и спосо-

- бы защиты от обледенения / А.П. Балянов, О.А. Клепачева, В.А. Трофименцева // Вестник КРСУ. - 2008. - Т. № 9. - С. 78-87.
2. Рассказов Л.Н. Гидротехнические сооружения /Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехов, Н.А. Анискин. - М.: Изд-во АСВ, 2008. - Ч. I. - 528 с.
  3. Кириенко И.И. Гидротехнические сооружения. Проектирование и расчет / И.И. Кириенко, Ю.А. Химерик. - Киев: Изд-во «Вища школа», 1987. - 253 с.
  4. Замарин В.А. Проектирование гидротехнических сооружений. - М.: Изд-во «Сельхозгиз», 1961. - 228 с.
  5. Ануфриев И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. - СПб: БХВ - Петербург, 2005. - 104 с.
  6. Бекенов М.Э. Исследование и развитие компьютерных технологий и телекоммуникационных средств для специальных информационных систем. Информационные системы в АПК Кыргызской Республике // Отчет о НИР/КАА № 7, 1997. - 214 с.
  7. Бардзелл Джифери. Macromedia Dreamweaver MX 2004 с ASP, ColdFusion и PHP. Из первых рук / Пер. с англ. - М.: «ЭКОМ», 2006. - 560 с.
  8. Суюнбекова И.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния массивов пород нагорного карьера // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2008. - 153-156 с.
  9. Кутуев М.Д. О задачах моделирования техногенных воздействий на гидротехнические сооружения / М.Д. Кутуев, А.Г. Шубович, И.А. Суюнбекова // Тр. Междунар. науч. конф. «Рахматуллинские чтения». - Бишкек: КГУСТА, 2011. - 259-262 с.
  10. Суюнбекова И.А. Проблемы энергоснабжения и возможные направления их решений // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2009. - С. 283-288.

Получено 20.05.2014

по страницам



## ПАМЯТЬ ИНТЕРНЕТА СПРЯЧЕТСЯ В ШАХТУ

На острове Вогсе у юго-западного побережья Норвегии пятнадцать лет назад закрыли шахту, где добывали поделочный камень оливин (самая ценная его разновидность - хризолит). На пяти уровнях идут галереи шириной по 13 и высотой по 9 метров. Общая площадь выработок – 18 футбольных полей.

Здесь решено разместить центр хранения и обработки данных, где поставят длинные ряды мощных компьютеров – серверов, которые будут хранить и выдавать по запросам пользователей документы, видеоклипы, музыку, кинофильмы, почту, программы и вообще все, что можно получить из интернета. Одна фирма Google содержит в мире около миллиона серверов, а социальная сеть Facebook – более 180 тысяч. Особенность норвежского центра будет состоять в экономной системе охлаждения. Обычный центр данных тратит на охлаждение серверов 30 % расходуемой электроэнергии (70 % - на питание самих серверов, систем безопасности, освещения и т.д.). Так как норвежский центр находится на острове, для охлаждения будут закачивать воду из океана с глубины 200 метров, где температура круглый год составляет 8 градусов Цельсия. Нагретая электроникой морская вода пойдет на обогрев теплиц.

