



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 жидких 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 ϑ , 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; ϑ – 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 v 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 альтернативным 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 отсчет 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 (дрессельном) 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 ρ . 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 свыше 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 трубки 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 трубки, 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, м³/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 нагретого тела потоком жидкости или газа. В качестве нагретого 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 доплеровский.

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.

Список литературы

1. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под общ. ред. д.т.н., проф. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – Гл. 1.
2. 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.
3. Древецкий В.В. Измерение физико-механических параметров жидкостей с использованием дроссельных преобразователей. – Нац. авиационный ун-т. – Украина, 2012 / Сайт: <http://www.rusnauka.com>.
4. Дифференциальные манометры группы компаний «Промприбор/Теплоприбор» / Сайт:<http://teplokip.narod.ru>.
5. Расходомеры индукционные. Сайт:<http://megapaskal.ru>.
6. Ротаметр – поплавковый расходомер переменного сечения /Сайт:<http://www.hroelektro.ru>.
7. Горлин С.М. Аэромеханические измерения / С.М. Горлин, И.И. Слезингер. – М., 1964.
8. Ультразвуковые расходомеры / Сайт:<http://flowmeter.pp.ua>.
9. Расходомеры Кориолиса / Сайт:<http://www.rospribor.com>.
10. Приборы для измерения и контроля расхода // Энциклопедия КИП и А. – Раздел 4.4 / Сайт:<http://www.kip-guru.ru>.
11. Kinghorn F.C. Challenging areas in flow measurement / Measurement and Control, 1998. – № 8.
12. Пат. RU № 2282828 от 27.02.2006. Устройство для измерения объемного расхода топлива / П.Т. Харитонов.
13. Патент RU № 2323365 (патентообладатель П.Т. Харитонов) от 27.04.2008. Способ и устройство для измерения объемного расхода топлива двигателями внутреннего сгорания / В.Л. Свиштунов, П.Т. Харитонов.
14. Свиштунов В.Л. Измеритель объемного расхода жидкостей методом мерного гидроцилиндра: Сб. реф. статей и тезисов докл. МНТК и выставки «INVENTIKA 2010». / В.Л. Свиштунов, П.Т.Харитонов – Румыния, Яссы, июнь 2010. – С. 107.
15. Ахметов В.В. Измеритель объемного расхода жидкости / В.В. Ахметов, П.И. Артамонов, П.Т. Харитонов // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2012. – № 4.
16. 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

1. Design of sensors for measuring mechanical quantities. Under the general editorship of Prof. Osadchy // M., Mechanical Engineering, 1979. – ch. 1.
2. 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.
3. Drevetskiy V.V . Measuring physical and mechanical properties of liquids using throttle converters. National Aviation University, Ukraine, in 2012. Website: <http://www.rusnauka.com>.
4. Differential Pressure Gauges Group "Promprylad / Teplopribor." Website: <http://teplokip.narod.ru>.
5. Induction flowmeters. Website: <http://megapaskal.ru>.
6. Rotameter-Float flowmeter variable section. Website: <http://www.hroelektro.ru>.
7. Gorlin S.M., Slezinger I.I. Aeromechanical measurement, M., 1964 .
8. Ultrasonic flowmeters. Website: <http://flowmeter.pp.ua>.
9. Coriolis flowmeters. Website: <http://www.rospribor.com>.
10. Measurement and flow control. Encyclopedia of Instrumentation and Section 4.4. Website: <http://www.kip-guru.ru>.
11. Kinghorn F.C. Challenging areas in flow measurement / Measurement and Control, 1998. – № 8.
12. Kharitonov P.T. Device for measuring the volumetric flow of fuel. Patent RU № 2282828 from 27.02.2006.
13. 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.
14. 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 .
15. Akhmetov B.B., Artamonov P.I., Kharitonov P.T. Measuring volumetric flow rate // Vestnik KazNT by namedi K. Satpayev. – 2012. – № 4.
16. 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. Суюнтбекова

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 гидросооружений. 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).

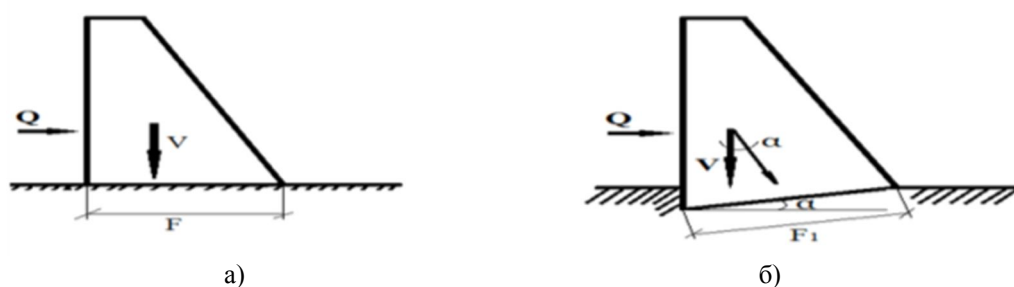


Рисунок 1 - Схемы к расчету устойчивости плотины на сдвиг

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

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

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

$$k_n n_c \sum Q \leq (\sum P \operatorname{tg} \varphi + cF)m, \quad (2)$$

где $\sum P$ и $\sum Q$ – расчетные равнодействующая сдвигающих сил и равнодействующая нормальных к плоскости сдвига сил; $\operatorname{tg} \varphi$ 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 $\operatorname{tg} \varphi$ 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 $\operatorname{tg} \varphi$ и c .

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

$$k_n n_c (Q \cos \alpha - V \sin \alpha) \leq [(V \cos \alpha + Q \sin \alpha) \operatorname{tg} \varphi + cF]m. \quad (3)$$

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

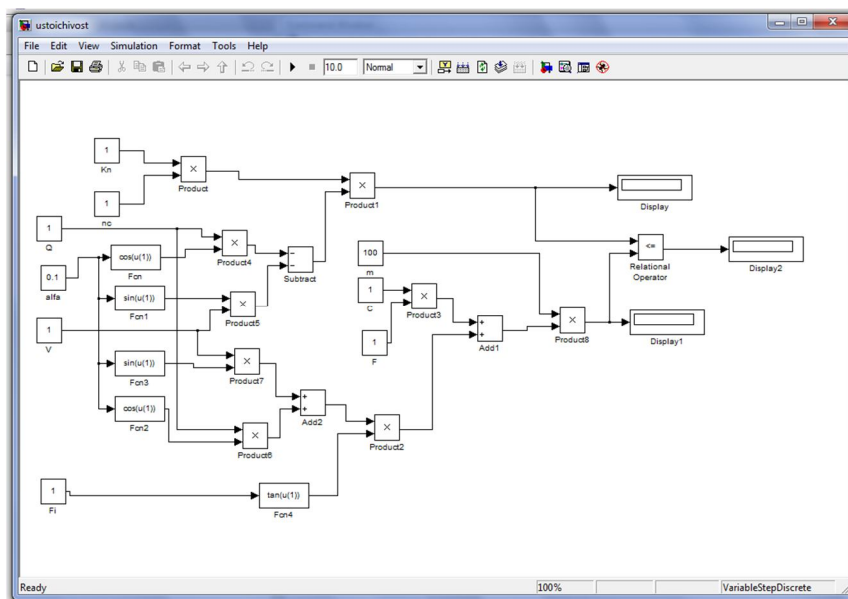


Рисунок 2 - Модель устойчивости плотины

При изменении начальных условий сдвига плотины относительно основания (параметры V , C , α , 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 α к горизонту. Отношение наклона зубьев α к сдвиговой прочности плотины показано на рис. 3.

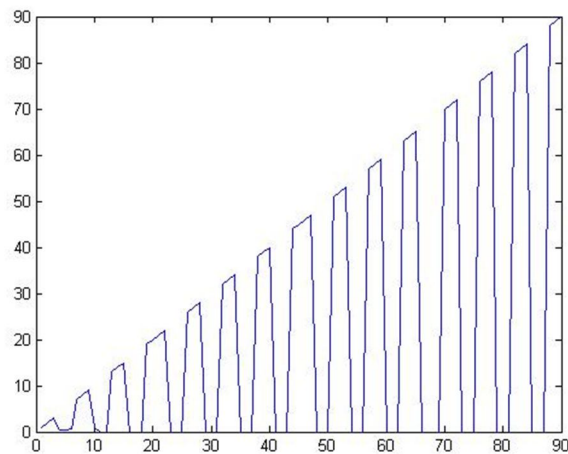


Рисунок 3 - Отношение наклона зубьев α к сдвиговой прочности плотины

Формула расчета длины отлета струи в зависимости от наклона зубьев и скорости водного 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; α – 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.

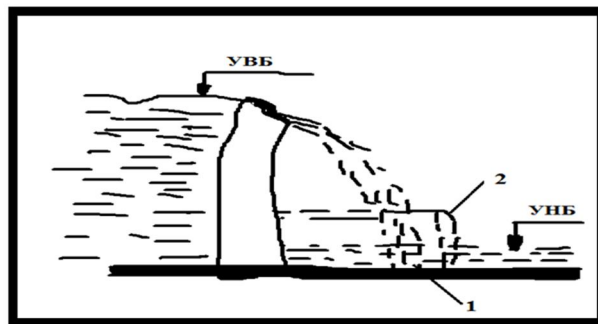


Рисунок 4 - Свободно падающая струя на арочной плотине

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).

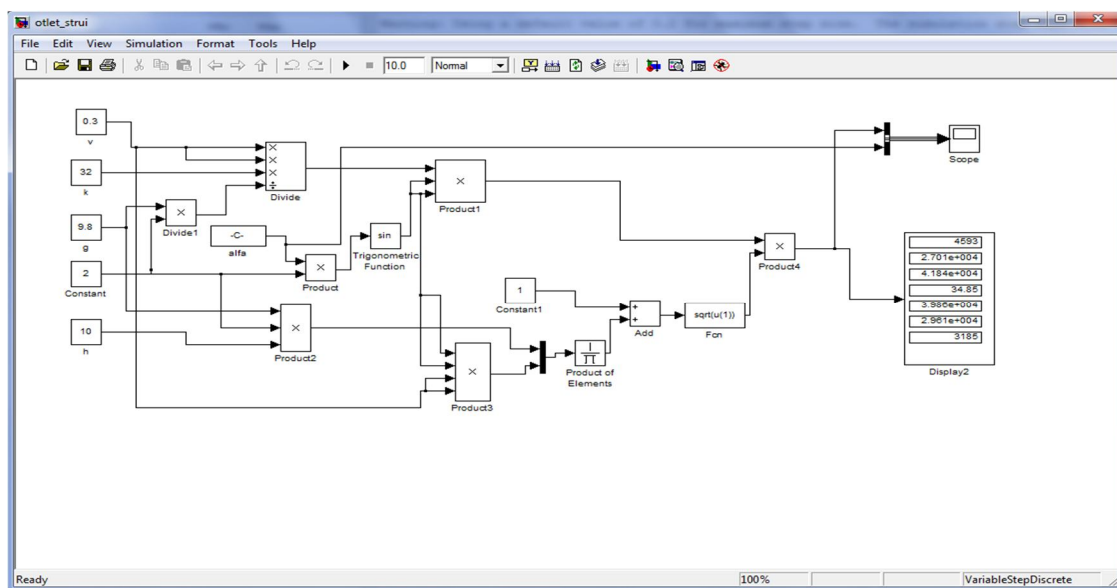


Рисунок 5 - Модель длины отлета струи

Графики изменения длины отлета струи позволяют более полно проанализировать изменение длины струи от наклона носка, т.к. дальность отброса струи от сооружения увязывается с возможностью обеспечения его безопасной эксплуатацией, 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).

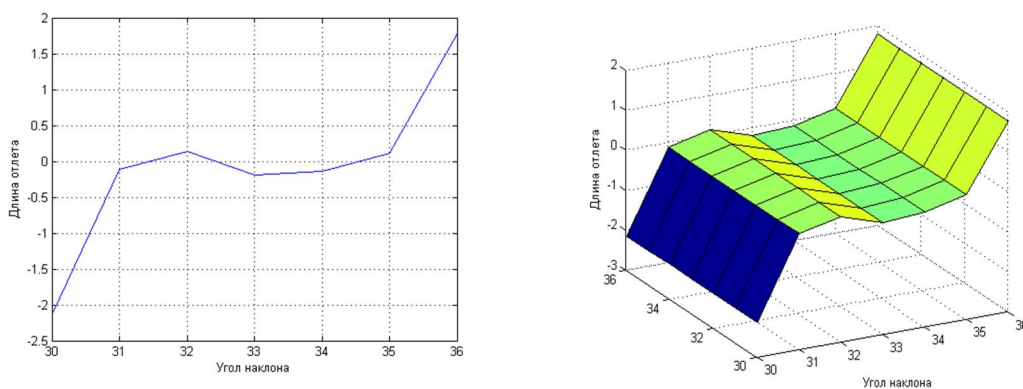


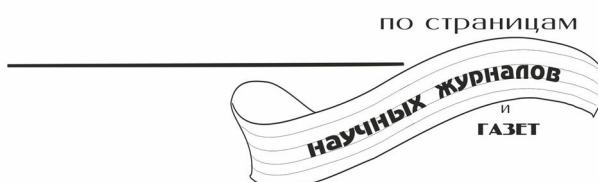
Рисунок 6 - Зависимость длины отлета струи от угла наклона носка

Список литературы

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

- бы защиты от обледенения / А.П. Баянов, 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 Республики // Отчет о НИР/КАА № 7, 1997. – 214 с.
 7. Бардзелл Джефери. Macromedia Dreamweaver MX 2004 с ASP, ColdFusion и PHP. Из первых рук / Пер. с англ. – М.: «ЭКОМ», 2006. – 560 с.
 8. Суюнтбекова 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. Суюнтбекова // Тр. Междунар. науч. конф. «Рахматуллинские чтения». – Бишкек: КГУСТА, 2011. – 259-262 с.
 10. Суюнтбекова И.А. Проблемы энергоснабжения и возможные направления их решений // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2009. – С. 283-288.

Получено 20.05.2014



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.

