

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОХОДКИ СКВАЖИН ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ

*Асанов Арстанбек Авлезович, доктор технических наук, профессор Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова 720020, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б, e-mail: [asanov52@mail.ru](mailto:asanov52@mail.ru)*

В статье рассматривается конструкция новой силовой импульсного устройства для проходки скважин, основанной на применении разрядно-импульсных технологий, приводится порядок расчета основных параметров электрической и гидромеханической части такого устройства. Важность рассматриваемых направлений для техники и технологии, реализуемых в народном хозяйстве, обусловило создание надежных агрегатов высоковольтного оборудования: трансформаторов, коммутаторов, разрядников, импульсных конденсаторов большой емкости и т.п., то есть была создана материальная база для реализации ЭГУ в экспериментальных и производственных условиях. В данной работе приведен метод преобразования энергии электроразряда в гидродинамическую энергию потока жидкости, а также конструкция устройства для его реализации.

**Ключевые слова:** импульсные технологии, жидкость, ударная волна, устройство, расчет.

## TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR WALKING WELLS BY PULSE ELECTRIC DISCHARGES

*Asanov Arstanbek Avlezovich, doctor of technical sciences, professor of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N.Isanov 720020, Kyrgyz Republic, Bishkek, Maldybaeva, 34 b, e-mail: [asanov52@mail.ru](mailto:asanov52@mail.ru)*

The article deals with the design of a new power impulse device for drilling wells based on the use of discharge-impulse technologies, the procedure for calculating the main parameters of the electrical and hydromechanical part of such a device is given. The importance of the directions in question for technology and technology implemented in the national economy has led to the creation of reliable high-voltage equipment assemblies: transformers, switches, surge arresters, high-capacity pulse capacitors, etc., that is, a material base was created for the implementation of the EHU in experimental and production conditions. In this paper, a method is given for converting the energy of the electric discharge into the hydrodynamic energy of the liquid flow, and also the design of the device for its realization.

**Keywords:** impulse technologies, liquid, shock wave, device, calculation.

Наметившийся в последние годы акцент на ресурсосберегающие технологии во всех отраслях промышленности требует создания технологических процессов и машин для их реализации с улучшенными технико-экономическими характеристиками. В этом плане огромный интерес для специалистов, занимающихся машинами ударного и пульсационного действия, представляют силовые импульсные системы, основанные на применении разрядно-импульсных технологий (РИТ) [1].

Явление электрогидравлического удара (ЭГУ) или в другой терминологии, интенсивное механическое возмущение в жидкости, возникающее в ней при высоковольтном электрическом разряде, впервые было обнаружено более двух веков назад. Однако, возникающие при этом мощные гидродинамические импульсы не нашли практического применения в то время. Обнаруженный эффект был надолго забыт.

Позднее, по мере развития электротехники, при создании мощных высоковольтных установок вновь столкнулись с электрическими разрядами в жидкостях, используемых в этих установках в качестве диэлектриков. Разрушающее действие, возникающее при электрическом пробое диэлектрических жидкостей, сформировало устойчивое мнение о бесперспективности электрического разряда в жидкости. Проявление практического интереса к этому явлению начинается примерно с 30-х годов XX века. Среди причин, побудивших интерес к ЭГУ, отмечают необходимость разработки мероприятий по предотвращению аварий в высоковольтных линиях электропередач в результате электрических пробоев в различных агрегатах и узлах подстанций. Второй существенный импульс к изучению ЭГУ был получен от работ, связанных с изучением термоядерных реакций и вообще ядерной энергетики [2].

В 1950 г. Л.А. Юткин предложил использовать в технологических процессах электрические разряды в жидкости, а точнее, возникающие при этом гидродинамические импульсы. Так был изобретен способ получения высоких и сверхвысоких давлений, который получил название электрогидравлического эффекта (ЭГЭ), или эффекта Юткина [3].

Важность отмеченных выше направлений для техники и технологии, реализуемых в народном хозяйстве, обусловило создание надежных агрегатов высоковольтного оборудования: трансформаторов, коммутаторов, разрядников, импульсных конденсаторов большой емкости и т.п., то есть была создана материальная база для реализации ЭГУ в экспериментальных и производственных условиях.

В настоящее время электрогидравлический эффект нашел широкое применение в горном деле, сельском хозяйстве, строительстве, машиностроении, металлургии и даже медицине [4].

Согласно проведенному нами анализу, применительно к вопросам генерации энергии, этот эффект вполне может обеспечить:

- бестопливное малозатратное получение тепловой, гидравлической, механической и электрической энергии;
- сжигание любых жидкостей, превращая получаемую субстанцию в газ для последующего сжигания;
- очистку сточных вод, с получением топливного газа и др.

Независимо от технологических задач для реализации ЭГЭ нужна электроразрядная установка, которая состоит из трех главных узлов: зарядного устройства, источника импульсной энергии в виде генератора импульсных токов (ГИТ) или генератора импульсных напряжений и рабочей камеры [4]. Встроенный в ГИТ трансформатор повышает рабочее напряжение электросети. Далее переменный ток в блоке диодов преобразуется в постоянный, который накапливается в конденсаторных батареях. При использовании всей емкости батарей можно подавать импульс тока к электродам. Для этой цели в ГИТ встроен высоковольтный коммутатор.

При осуществлении импульсного разряда в конденсированных средах (жидкостях, эмульсиях, суспензиях, пульпах и т.п.) ток между электродами протекает по плазменному

каналу, проводимость которого сопоставима с проводимостью металлических проводников.

В результате импульсного электрического пробоя возникает ударная волна, фронт которой распространяется в жидкости со сверхзвуковой скоростью. Среда вокруг канала разряда смещается со скоростью на порядок меньшей, а на месте канала пробоя образуется парогазовая полость. При беспробойном механизме импульсного разряда в результате большого градиента плотности тока в локальной области образуется резко локализованная область нагрева среды, что в итоге приводит также к выше описанному эффекту, но со значительны нагревом всего объёма среды. При этом электродная система, погружаемая в воду и др. жидкие среды, в которых осуществляется разряд, должна выдерживать многократно повторяющиеся воздействия высоких давлений и температур в момент электровзрыва.

Согласно [1, 2] при электрическом разряде в жидкости энергия, накопленная в конденсаторе, расходуется на многие составляющие, в том числе, на образование ударной волны и пульсации пароводяной струи. Анализ процесса перемещения границы такой субстанции сводится к известной задаче гидродинамики для взрыва в несжимаемой жидкости, и в случае сферической симметрии основное уравнение гидродинамики может быть записано в следующем виде:

$$du/dt + u \partial u / \partial x + 1/\rho \partial p / \partial x = 0, \quad (1)$$

где  $u$  - скорость расширения газового пузыря;  $t$  - время;  $\rho$  - плотность жидкости;  $P$  - давление в газовом пузыре;  $x$  - бегущая координата перемещения границы газового пузыря.

Решение уравнения (3) в случае несжимаемости жидкости дает величину давления  $P$  на поверхности, которая непосредственно граничит с разрядом:

$$P = P_0 + \rho/2 [(dR/dt)^2 + 2R(d^2R/dt^2)]. \quad (2)$$

где  $P_0$  - атмосферное давление над свободной поверхностью жидкости;  $dR/dt$  - скорость границы движения пароводяной субстанции;  $R$  - радиус газового пузыря;  $d^2R/dt^2$  - ускорение границы движения субстанции.

Расчеты по формуле (2) показывает, что изменение давления в газовом пузыре составляет величину порядка  $10^3$  МПа, которое за время  $2 \cdot 10^{-3}$  с падает до нормального. Температура по данным /4/, составляет примерно  $4 \cdot 10^4$  °С. Одним из важных технических задач была необходимость применения таких величин параметров давления и температуры паро-ионной субстанции для проходки скважин гидроимпульсным устройством /5/.

С учетом изложенного выше, в данной работе рассматривается метод преобразования энергии электроразряда в гидродинамическую энергию потока жидкости, а также конструкция устройства для его реализации. Процесс осуществляется в изолированной камере, которая имеет контросиловую податливость к расширению объема. При этом расширение объема обеспечивается в диапазоне сверхкритических значений для перегретой паро-ионной субстанции параметров: давления и температуры. Количество и скорость выделяемой кинетической и тепловой энергии в зоне электрическом разряда зависит от многих причин, в том числе, от параметров электрическом разряде и свойств жидкости. При этом теплофизический эффект можно вызвать мощным одиночным импульсом электрического разряда между электродами, помещенными в жидкости, так и последовательной серией импульсов. Он позволяет непосредственно использовать электроэнергию для создания мощных гидродинамических возмущений с целью воздействия на обрабатываемую среду.

Общий вид предлагаемого устройства в разрезе приведен на рис. 1. Гидроударное устройство включает в себя трубчатый ствол высокого давления 1 с гидрозарядной полостью 2, в которой смонтирован жаростойкий электрод 3. Электрод 3 жестко связан трубчатой

стяжкой 4 с питающей сетью постоянного тока 5 и водоподводящим каналом 6. Электрод 3 опирается на накидную крышку 7 через жаропрочный изолятор 8, например, выполненный из кварцевого стекла или оксида алюминия. Электрод 3 имеет трубчатую форму с полостью 9, связанной с осевым водоподводящим каналом 6 через обратный шаровый клапан 10, а боковыми отверстиями 11 полость 9 связана с полостью 2 ствола 1. На своём выходе полость 2 оборудована запорным клапаном 12, в виде двухступенчатого цилиндрического тела с конусной головкой 13, перекрывающей участок переходного конфузора от полости 2 в расходное сопло. Запорный клапан 12 с конусной головкой 13 имеет площадь сечения меньше сечения ступени 14. Ступень большего диаметра 14 запорного клапана 12 притёрта в цилиндрической полости 15 осевого относительно полости 2 цилиндра 16, имеющего пролукольцевые проточки 17 для сквозного пропуска рабочей жидкости.

Головка 13 притёрта в стенках расходного сопла переходящего в диффузорный расширитель 17. Далее диффузор переходит в цилиндрический канал 18, который в свою очередь сопрягается с глушителем шума 19 и выхлопной трубой 20. Цилиндрическая полость 15 соединена тонким каналом 21 с полостью 2, а вторым каналом 22, имеющим кратно большее сечение, чем канал 21, соединена с атмосферой посредством шарового клапана 23, который нормально прижат к устью канал 22 с выходом в атмосферу подпружиненным рычагом 24.

Работа устройства начинается с момента подачи в полость 2 ствола высокого давления 1 минерализованной воды, т.е. слабого электролита. Вода поступает по токопроводному трубчатому каналу 4 в полость 9 электрода 3 и по отверстиям 11 заполняет полость 2, герметично перекрытую конусной головкой 13 клапана 12. Далее включается электросеть 5 и производится электроразрядный перегрев слабого электролита в тонком зазоре между стенками полости 2 и стенками электрода 3 в течение некоторого периода времени. Клапан 10 перекрывает выход зарядной воды в сторону канала запитки 6. Вода в полости 9 ниже отверстий 11 не участвует в электроразрядном перегреве и служит для охлаждения электроразрядных стенок электрода 3.

Под действием высокой температуры и соответствующего паро-ионного преобразования воды последняя сжимается в пределах своего физического коэффициента сжатия с возмещением сжатого объёма воды объёмом паро-ионной субстанции. Давление в стволе может достигать 5-7 тыс. атмосфер и более. При достигнутом заданном давлении в полости 2 и, следовательно, в полости 15 осевого цилиндра 16, оно преодолевает прижимное действие рычага 24 и давление в полости 15 резко падает, поскольку восполнение его через тонкий канал 21 запаздывает из-за значительно меньшей пропускной способности.

Поскольку ступень запорного клапана 12 с конусной головкой 13 имеет меньшее сечение, чем притёртая ступень 14, то давление в полости 2, действуя на кольцевую площадку перехода от одного сечения к другому, перемещает тело клапана с конусной головкой внутрь свободной полости 15 и этим открывает путь для выброса воды в расширительный гидродинамический тракт 17,18. Расширительный тракт предусмотрен для преобразования сравнительно тонкой струи из расходного сопла в короткий цилиндр, имеющий значительно больший разрушительный эффект при контакте с разрушаемым объектом.

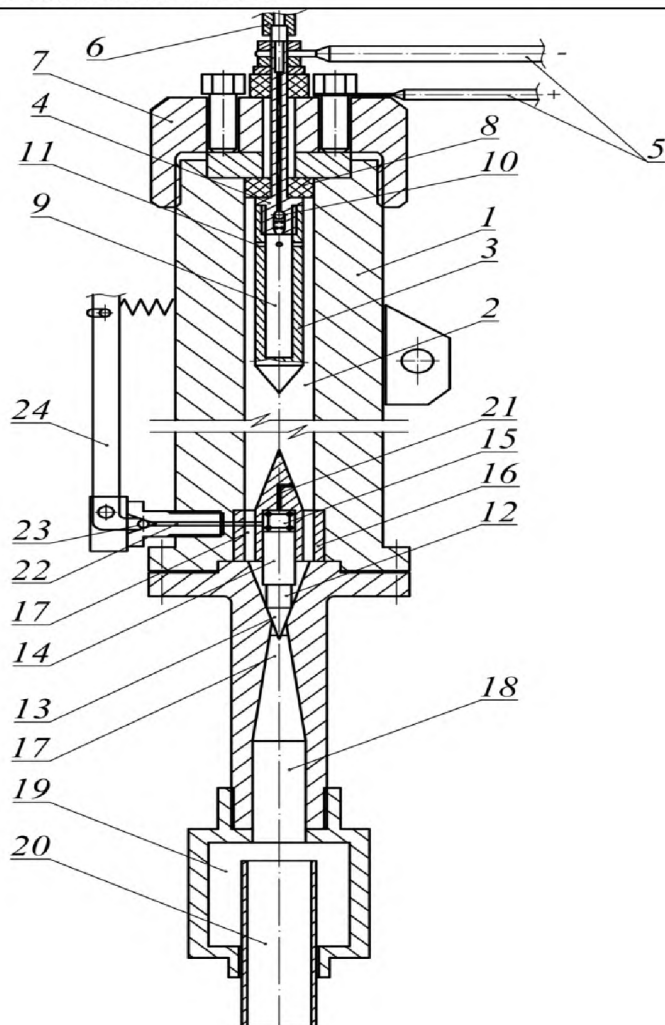


Рис.1. Конструкция гидроимпульсного устройства

При этом достигается более высокий КПД затраченной энергии от объёмного расширения пара при одновременном снижении уровня шума выхлопа. Конструкция устройства позволяет нейтрализовать гидродинамические удары при включении ее в силовую цепь и позволяет накапливать тепловую энергию при непрерывном электрическом разряде в потоке слабого электролита.

На основании работ [1-4], конструктивных особенностей проектируемого оборудования и полученных предварительных экспериментальных данных порядок расчета основных параметров исследуемого оборудования можно реализовать, следующим образом.

Исходные данные: напряжение тока; расстояние между электродными обкладками; площадь электрода; рабочий электролит.

В модели экспериментального устройства предусматриваются следующие параметры и характеристики:

- температура перегретого пара  $T$ ;
- давление в перегревательной камере  $P$ ;
- объем перегреваемой жидкости  $Q_1$ ;
- масса нагнетаемой жидкости  $m$ ;
- объем расширения перегретого пара  $Q_2$ .

Мощность зарядного устройства можно рассчитать по следующей формуле

$$R = CU^2f / 2r \cos \alpha, \quad (3)$$

где  $C$  – емкость конденсаторов,  $f$  – частота следования импульсов;  $r$  – КПД генератора тока.

Индуктивность разрядного контура

$$L = 0,00254t^2/C, \quad (4)$$

где  $t$  – период разряда.

Расчетная сила тока разряда

$$I = 0,86\sqrt{2W/L}, \quad (5)$$

где  $W$  – энергия разряда.

Мощность разряда

$$N_{max} = I_{max} U_{max}, \quad (6)$$

где  $I_{max}$ ,  $U_{max}$  – значение тока и напряжения полупериода, соответствующей максимальной мощности.

Выделившая энергия разряда

$$W = I_{max} U_{max} t_{max}/2 = CU/2, \quad (7)$$

где  $t_{max}$  – время, соответствующее максимальному значению мощности.

Согласно уравнения газового состояния, параметры паро-ионной субстанции взаимосвязаны между собой следующей зависимостью

$$PQ = R_0T, \quad (8)$$

где  $P$ ,  $Q$  и  $T$  – давление, объем и температура перегретого пара соответственно,  $R_0$  – газовая постоянная.

Кинетическая энергия перегретой субстанции рассчитывается по формуле

$$W = mRT/(\kappa - 1), \quad (9)$$

где  $m$  – масса объема перегреваемой жидкости,  $\kappa$  – отношение удельной теплоёмкости по давлению, отнесенное к теплоёмкости по объёму/, для данного случая  $\kappa = 1.25$ .

Зная адиабатический объем расширения пара в рабочей камере по формуле

$$e^k = (Q_2/Q_1)^k, \quad (10)$$

рассчитывают выхлопное давление  $P_v$  и температуру  $T_v$  соответственно:

$$P_v = P/e^k, \quad (11)$$

$$T = T_v (P/P_v)^{\kappa-1}. \quad (12)$$

Таким образом, на основ исходных данных и конструктивных параметров и характеристик гидроимпульсного устройства, можно рассчитать основные параметры как электрической, так и гидромеханических его частей.

### Список литературы

1. Малюшевский, П. П. Основы разрядно-импульсной технологии / П.П.Малюшевский. – Киев: Навук. думка, 2013(переиздан).
2. Разрядно-импульсная технология обработки минеральных сред / Г. Н. Гаврилов [и др.]. – Киев: Навук. думка, 1979.
3. Юткин, Л. А. Электродинамический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986.
4. Оборудование и технологические процессы с использованием гидродинамического эффекта / Г. А. Гулый [и др.]. – М.: Машино-строение, 1977.
5. Асанов А.А., Гуменников Е.С. Развитие объектов теплоэнергетики на основе инновационных технологий подземной переработки угля. / Известия КГТУ им. И. Раззакова, № 44, 2017, с 38 – 45.