

УДК 532.5.013.2, 537.226.86

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗМОЖНОСТЕЙ «ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТАРАНА» КАК УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА

**В.В. Марухин**, доктор технических наук, главный конструктор, научный руководитель  
Научно-Производственное Объединение «Энергетика Будущего» (Москва), Россия

***Аннотация.** Приводятся некоторые результаты развития теории водоподъемного устройства под названием «гидравлический таран», в итоге которых разработана модификация этого устройства, позволяющая создать малогабаритный электрогенератор, способный без использования какого-либо топлива или солнечной энергии производить непрерывно в течение нескольких лет вне зависимости от погоды и климата экологически чистую электроэнергию. Мощность генерируемой электроэнергии такого электрогенератора с единицы объема его рабочего контура значительно больше, чем у любого электрогенератора, использующего природное топливо или солнечную энергию. Приводится описание нового устройства, описание принципа работы электрогенератора, который можно использовать для квартиры, дома, промышленного объекта, электроавтомобиля, дирижабля, самолета, подводного аппарата, надводного судна, и для космического аппарата, если аппарат будет вращаться вокруг своей оси. Приводится конструктивная схема и описание электрогенератора с проектной выходной мощностью 156 кВт и результаты его испытаний.*

***Ключевые слова:** гидравлический удар, гидравлический таран, потенциальная энергия, пьезоэлектрический генератор.*

В 2005 – 2006 годах в Международном журнале «Альтернативная энергетика и экология» были опубликованы некоторые результаты теоретических и экспериментальных исследований [1, 2], показывающие, что известное устройство, имеющее название «гидравлический таран», может работать полностью погруженным в жидкость. Это возможно благодаря тому, что каждый цикл нагнетания можно осуществить без слива жидкости путем применения 3-го (помимо ударного и нагнетательных клапанов) клапана определенной конструкции, который должен быть расположен на входе питающей трубы. Также было показано, что таким образом модернизированный гидравлический таран можно использовать как насос или источник мощной экологически чистой электрической энергии, способный теоретически непрерывно и бесконечно долго работать без какого-либо дополнительного топлива. А также было приведено доказательство того, что данное устройство не является «вечным двигателем» первого рода, а представляет собой преобразователь энергии всепроникающего, не замкнутого в устройстве, гравитационного поля. Патент [14] на такое устройство был получен в 2006 году.

В дальнейшем выяснилось, что тот же не затухающий гидравлический удар можно получить и без сложного в наладке третьего специального клапана, а применением дополнительной сливной камеры и установкой ударного клапана перед этой сливной камерой. Патент [15] на такое устройство был получен в 2008 году.

На основе выше указанных патентов в 2005 – 2008 годах были разработаны уникальные конструкции электрогенерирующих модулей (комбинаций водоподъемного устройства, специальной гидротурбины и электрогенератора синхронного типа – динамо-машины), выходная электрическая мощность которых составляла 0,05 – 500 кВт и более. Но из-за большого количества не надежных в работе деталей, присущих гидротурбине и, особенно, динамо-машине, такие электрогенерирующие модули оказались технологически сложными для производства и наладки устройствами. Например, электрогенерирующий модуль мощностью 500 кВт имел проектную массу 36 тонн, высоту 7 метров, диаметр 3 метра и динамо-машину массой 4 тонны. А его 3-й (входной) клапан длиной более 2000 мм и диаметром 800 мм должен был в течение нескольких лет совершать на роликах поступательно-возвратный ход длиной 200 мм с частотой ~3 герца вдоль питающей трубы. Попытки создания электрогенерирующих модулей мощностью более 1000 кВт приводили к необходимости изготовления еще более громоздких и не надежных в работе конструкций.

Однако в 2008 году при дальнейшем анализе основных уравнений теории «гидравлического тарана» С. Д. Чистопольского [3] и результатов экспериментальной работы по созданию выше описанных конструкций электрогенерирующих модулей выяснилось, что незатухающий гидравлический удар можно получить и без нагнетательного клапана. Это связано с тем, что нагнетательный клапан при малых временах цикла нагнетания может заменить инерция определенного количества жидкости, находящегося после места расположения этого клапана. Это позволяло значительно уменьшить время всего процесса нагнетания и, следовательно, увеличить мощность устройства. Так было разработано устройство под условным названием «гидроударный незатухающий колебательный контур». Принципиальная схема такого устройства представлена на Рис. 1.

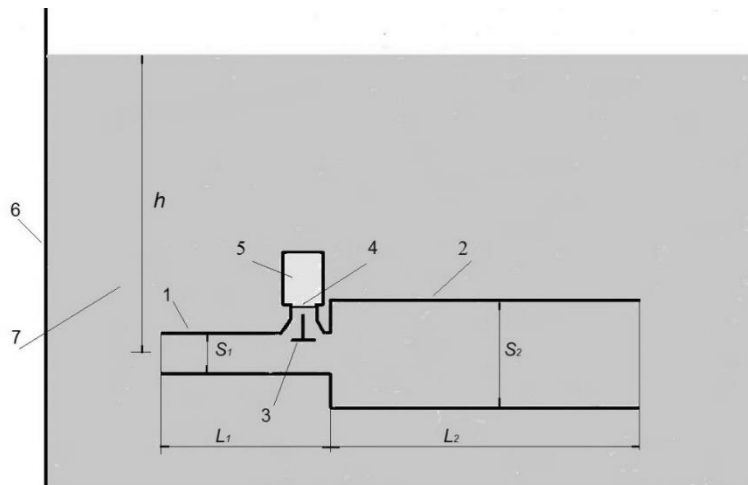


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

Данное устройство имеет трубу 1, трубу 2, ударный клапан тарельчатого типа 3, герметичную мембрану 4 и камеру 5, из которой предварительно удален воздух. При этом площадь  $S_2$  внутреннего сечения трубы 2 много больше площади  $S_1$  проходного сечения трубы 1, а отношение длины трубы 1 к ее диаметру не более пяти. Данное устройство полностью погружено в жидкость 7, находящуюся в резервуаре 6, так что ось трубы 1 и, соответственно, ось трубы 2 находятся на расстоянии  $h$  от поверхности жидкости. При этом на поверхность жидкости действует внешнее давление  $P_0$  какого-либо газа, большее или равное давлению атмосферы.

В момент пуска устройства мембрана 4 полностью разрушается. И жидкость под внешним давлением, как и в обычном «гидравлическом таране», истекает из трубы 1 и трубы 2 в камеру 5 через проходное сечение ударного клапана 3. В определенный момент времени ударный клапан 3, как и в обычном «гидравлическом таране», закрывается, и жидкость в камеру 5 не поступает. И из-за почти мгновенной остановки жидкости так же, как и в обычном «гидравлическом таране», возникает явление гидравлического удара. При этом часть скорости жидкости в трубе 1 трансформируется в давление. И под этим давлением из трубы 1 в трубу 2 поступает некоторое количество жидкости. При этом фронт волны возмущения в трубе 1 будет двигаться ко входу этой трубы со скоростью возмущения  $a_1$ , а фронт возмущения в трубе 2 будет двигаться к ее выходу со скоростью возмущения  $a_2$ .

Длина  $L_2$  трубы 2 такова, что, когда фронт волны возмущения в трубе 1 дойдет до входа трубы 1, фронт волны возмущения в трубе 2, а, следовательно, и область повышенного давления в трубе 2, доходит до середины трубы 2.

Этим заканчивается первая полуфаза нагнетания жидкости из трубы 1 в трубу 2, которая длится время  $t_0 = L_1 / a_1$ .

Во второй полуфазе нагнетания жидкости из трубы 1 в трубу 2 фронт волны возмущения в трубе 1, отразившись от неподвижной жидкости 7 в резервуаре 6, движется к трубе 2, а фронт возмущения в трубе 2 продолжает свое движение к выходу трубы 2. От входа трубы 1 до фронта возмущения в трубе 1, как и в обычном «гидравлическом таране», образуется зона пониженного давления. К моменту времени, когда зона пониженного давления занимает весь объем трубы 1, зона повышенного давления в трубе 2 занимает весь объем трубы 2. Этим заканчивается вторая полуфаза нагнетания жидкости из трубы 1 в трубу 2, которая длится время, равное  $t_0$ . Далее начинается третья полуфаза нагнетания жидкости из трубы 1 в трубу 2, в течение которой волна возмущения в трубе 1 вновь начинает двигаться в направлении ее входа. А фронт волны возмущения в трубе 2, отразившись от неподвижной жидкости 7 в резервуаре 6, начинает двигаться к трубе 1, образуя новую зону пониженного давления. В этой зоне давление жидкости меньше, чем в зоне повышенного давления, но больше, чем давление неподвижной жидкости 7 в резервуаре 6. При этом жидкость, находящаяся в зоне пониженного давления, получает некоторую скорость, направленную из трубы 2 в резервуар 6. В момент достижения в трубе 1 фронтом волны возмущения входа этой трубы, фронт волны возмущения в трубе 2 достигает середины трубы 2. Этим завершается третья полуфаза нагнетания жидкости из трубы 1 в трубу 2, которая длится время, равное  $t_0$ . И далее начинается четвертая, последняя, фаза нагнетания жидкости из трубы 1 в трубу 2, которая длится время, равное  $t_0$ .

В четвертой полуфазе нагнетания за счет трансформации избыточного давления в скорость волна фронта возмущения в трубе 1, за счет нового отражения от неподвижной жидкости 7 в резервуаре 6, меняет направление на противоположное направление и движется навстречу фронту возмущения в трубе 2. При этом от входа трубы 1 до фронта волны возмущения в трубе 1 появляется новая зона пониженного давления. Статическое давление жидкости в этой зоне, как и в обычном «гидравлическом таране», становится меньше, чем

давление неподвижной жидкости 7 в резервуаре 6. А скорость жидкости в этой зоне пониженного давления направлена ко входу трубы 1, то есть в сторону неподвижной жидкости 7 в резервуаре 6.

В момент достижения фронтом волны возмущения в трубе 1 конца трубы 1 – начала трубы 2 зоны повышенного давления в обеих трубах прекращают свое существование.

Сопоставление зоны нормального давления жидкости в трубе 2 и зоны более низкого статического давления жидкости в трубе 1 приводит к возникновению новой волны возмущения в жидкости, которая распространяется ко входу трубы 1 и достигает входа этой трубы за время, равное  $t_0$ . При этом жидкость в трубе 1, имея скорость, направленную ко входу трубы 1, у входа трубы 1 тормозится при соприкосновении с неподвижной жидкостью 7, а с другой стороны, отрывается от столба жидкости в трубе 2. В итоге в трубе 1 создается известная в теории обычного «гидравлического тарана» зона вакуума.

В обычном «гидравлическом таране» зону вакуума защищает от втекания жидкости из нагнетательной камеры вовремя закрывающийся нагнетательный клапан. В данном устройстве зону вакуума не успевает заполнить жидкость из трубы 2 ввиду инерционности этой жидкости, которая существенно проявляется при малом времени, в течение которого эта зона существует. При подборе исходных параметров устройства можно добиться, что объем жидкости, поступающей из трубы 2 в зону вакуума в трубе 1, не будет превышать и 5 % от начального объема жидкости в трубе 1. Соприкосновение фронта волны возмущения останавливающей жидкости в трубе 1 у входа трубы 1 с жидкостью 7 в резервуаре 6 порождает полное торможение жидкости в трубе 1, и в совокупности с поступлением небольшого количества жидкости из трубы 2 создает некоторое увеличение общего давления жидкости в трубе 1. В результате жидкость, имея скорость, направленную ко входу трубы 1, и получая у входа трубы 1 давление, равное давлению в резервуаре, начинает истекать обратно в резервуар, еще больше увеличивая зону вакуума в трубе 1 в районе ударного клапана. В итоге в трубе 1 как бы возникают зона вакуума, в которой отсутствует жидкость, и зона несколько большей протяженности, в которой жидкость имеет давление  $P_0$ . Данные зоны существуют, пока фронт волны возмущения, распространяющийся от входа трубы 1, не достигнет зоны вакуума, после чего напор жидкости из резервуара, со стороны входа трубы 1, заставляет жидкость двигаться в направлении зоны вакуума и заполнять объем этой зоны. При этом жидкость в трубе 1 разгоняется и в момент полного заполнения зоны вакуума приобретает конечную скорость  $U_\phi$ . Эту скорость можно назвать скоростью разгона жидкости после цикла нагнетания.

При соприкосновении движущейся жидкости в трубе 1 с истекающей жидкостью в трубу 1 из трубы 2 в результате остановки движения обеих жидкостей возникает новый гидравлический удар с параметрами жидкости, соответствующими новой скорости разгона жидкости. Параметры жидкости при разгоне жидкости до скорости  $U_\phi$  зависят от значения скорости жидкости  $U_{01}$  в момент остановки жидкости в трубе 1 при закрытии ударного клапана 3, от отношения этой скорости к скорости возмущения в жидкости  $a_1$  и от отношения величин  $a_1 / a_2$ .

При некоторых значениях указанных параметров, которые, в свою очередь, определяются определенным значением давления жидкости в резервуаре  $P_0$ , во втором цикле нагнетания реализуется разгон жидкости, при котором  $U_{01} = U_\phi$ . И, таким образом, во втором цикле нагнетания получается автоматическое повторение гидравлического удара с параметрами нагнетания, как и в первом цикле нагнетания. Аналогичный процесс реализуется в третьем цикле нагнетания, в четвертом цикле нагнетания и т. д. Параметры процесса нагнетания, при которых  $U_{01} = U_\phi$ , можно назвать установившимся процессом нагнетания или установившимся режимом работы. При этом время каждого цикла нагнетания с автоматическим повторением равенства  $U_{01} = U_\phi$  будет примерно равно  $6t_0$ .

Данное устройство для создания повторяющихся циклов нагнетания использует только потенциальную энергию жидкости в резервуаре и не требует подвода какой-либо дополнительной энергии. Автоматическое повторение процесса нагнетания происходит в полном соответствии с законами сохранения массы и энергии, за счет того, что в результате слива части жидкости через ударный клапан в первом цикле нагнетания, во втором цикле нагнетания и во всех последующих циклах нагнетания в трубе 1 в конце цикла нагнетания остается некоторая остаточная энергия. Если энергию жидкости, идущую на создание в трубе 1 каждого цикла нагнетания, сравнить с остаточной энергией перед этим циклом нагнетания, то их отношение не превышает 0,6. Если полную энергию жидкости, истекающей из трубы 2, сравнить с полной энергией, которая поступает в трубу 1 перед гидравлическим ударом, то их отношение не превышает 0,4.

Данное устройство, за способность производить с частотой  $a_1 / 6L_1$  без подвода энергии извне одинаковые и незатухающие циклы повышения и понижения давления жидкости, было условно названо «гидродарным незатухающим колебательным контуром».

Однако данное устройство в том виде, как оно представлено, использовать как водоподъемное устройство нельзя, поскольку выход трубы 2 должен соприкасаться с неподвижной жидкостью и не должен даже частично перекрываться для отбора истекающей жидкости. Кроме того, в открытом резервуаре данное устройство использовать практически невозможно, поскольку даже при  $a_1 = 500$  м/сек начальное давление жидкости должно

составлять 60 МПа. Но если отношение  $S_1 / S_2$  сделать существенно меньше, чем расчетное для данного устройства, и таким образом, измененное устройство поместить в резервуар с проточной жидкостью, чтобы была возможность непрерывного подвода дополнительной энергии, то необходимое для работы давление может быть снижено до давлений, близких к атмосферному давлению. Тогда, таким образом, измененное устройство может применяться там, где для совершения полезной работы требуется струя жидкости. Патент [13] на измененный таким образом «гидроударный незатухающий колебательный контур» был получен в 2015 году.

Однако начальное давление жидкости можно создать искусственно, если данное устройство будет находиться в закрытом резервуаре – в частности, с помощью газа над поверхностью жидкости, необходимое давление которого может быть создано насосом или каким-либо другим способом. При этом объем для заполнения газом в закрытом резервуаре можно сделать достаточно большим, чтобы повышение и понижение уровня жидкости при работе устройства составляло бы доли процента от этого объема. В этом случае периодическое повышение и понижение давления газа, за счет повышения и понижения уровня жидкости, не будет влиять на циклы нагнетания, а возможное уменьшение энергии жидкости в резервуаре за счет передачи окружающей среде тепла при периодическом нагреве и охлаждении газа при временах таких процессов, равных долям миллисекунды, будет отсутствовать.

В закрытом резервуаре «гидроударный незатухающий колебательный контур» с необходимым начальным давлением жидкости можно использовать для создания пьезоэлектрического генератора, если трубу 2 заполнить полностью или частично из пьезоэлектрического материала.

Однако мощность электроэнергии, если трубу 2 выполнить полностью из пьезоэлектрического материала, будет мала, поскольку для тонкостенного цилиндра увеличение его внутреннего радиуса от внутреннего давления не существенно превышает увеличение внешнего радиуса.

Но если пьезоэлектрический материал разместить между двумя металлическими оболочками, имеющими много большую толщину, чем обычное тонкое напыление из серебра, которое специально наносится для съема электрических зарядов, то увеличение внешнего радиуса цилиндра из пьезоэлектрического материала может быть много меньше по величине, чем увеличение его внутреннего радиуса. И получаемое уменьшение толщины оболочки из пьезоэлектрического материала будет соответствовать некоторому условному давлению на пьезоэлектрический материал, которое может быть больше по величине, чем избыточное давление при получаемом в трубе 2 гидравлическом ударе. Для этого наружная оболочка должна быть толстостенной, высокопрочной, с модулем упругости в несколько раз большим, чем у пьезоэлектрического материала, и играть роль упругой, малодеформируемой платформы. А внутренняя оболочка должна быть тонкостенной, упруго деформироваться, и быть с модулем упругости, близким к модулю упругости пьезоэлектрического материала. При этом начальные зазоры между оболочками должны отсутствовать. Такая конструкция трубы 2, если торцы этой трубы закрыты прочными диэлектрическими заглушками, позволяет и пьезоэлектрическому материалу выдержать давление значительно большее, чем допустимое давление, без его разрушения.

В качестве пьезоэлектрического материала может использоваться пьезокерамика и пьезопленка на основе «PVDF», как, например, это предлагается в патенте [12] под названием «Гидротаранный электрогенератор». При этом генерируемая электрическая мощность будет больше у того пьезоэлектрического материала, у которого больше так называемая «упругая жесткость». Из пьезокерамик для трубы 2 следует отдать предпочтение пьезокерамике «ЦТС-19М» [9] и ряду аналогичных марок.

В частности, при использовании серийно выпускаемых промышленностью цилиндров из пьезокерамики «ЦТС-19М» с наружным диаметром 85 мм, внутренним диаметром 77 мм, а также внешней оболочки с наружным диаметром 100 мм из высокопрочной легированной стали и внутренней оболочки с внутренним диаметром 73 мм из высокопрочного титанового сплава расчет параметров «гидроударного незатухающего колебательного контура» для дистиллированной воды дает зависимость возможной электрической мощности от начального давления жидкости, приведенную на Рис. 2.

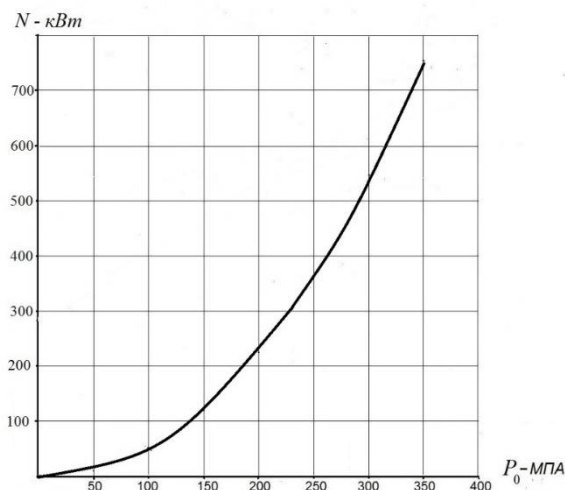


Рис. 2. Зависимость возможной мощности от начального давления



Данные значения возможной мощности получены с учетом линейной зависимости модуля упругости жидкости от давления и при расчете уменьшения толщины пьезоэлектрической оболочки от давления по формулам Ламе [16] при ее расположении между внутренней и наружной оболочками. Возможная генерируемая максимальная мощность определяется прочностью оболочек трубы 2. Для указанной конструкции трубы 2 расчетное максимальное напряжение деформации внутренней оболочки почти в три раза больше расчетного максимального напряжения деформации внешней оболочки. Высокопрочные титановые сплавы могут иметь предел текучести до 1100 МПа. Поэтому, с учетом получаемой величины давления от гидравлического удара в трубе 2, начальное давление жидкости для внутренней оболочки трубы 2 не может превышать 240 МПа. Таким образом, исходя из результатов расчетов, приведенных на Рис. 2, расчетная возможная мощность данного устройства при использовании дистиллированной воды может быть до 330 кВт. Такая мощность, несмотря на сравнительно не большую генерируемую энергию (до ~132 джоулей за один цикл нагнетания), объясняется, прежде всего, тем, что расчетное время каждого цикла нагнетания составляет ~ 0,3 – 0,4 мсек. Возможная мощность до 330 кВт достигается при расчетном объеме «гидроударного незатухающего колебательного контура», не превышающем 2,7 литра. Следовательно, отношение мощности к рабочему объему контура, эту мощность вырабатывающего, будет 122 кВт/литр, что много больше, чем у любого генератора электроэнергии, использующего углеводородное горючее. При других размерах и материалах оболочек трубы 2 и при использовании иной не электропроводной жидкости возможно получение большей по величине электрической мощности.

Таким образом, «гидроударный незатухающий колебательный контур» при применении в трубе 2 пьезоэлектрического материала и жидкого диэлектрика в качестве рабочей жидкости может быть компактным и простым по конструкции источником электрического тока большой мощности.

Разработанная теория [11] «гидроударного незатухающего колебательного контура» не учитывает объемное течение жидкости, влияние на пьезоэлектрический материал возможных технологических зазоров между оболочками трубы 2 и ряд других факторов. В связи с этим была осуществлена экспериментальная проверка результатов расчета по этой теории конкретного электрогенератора проектной максимальной мощностью 156 кВт путем изготовления такого электрогенератора и его испытания. Конструктивная схема данного электрогенератора показана на Рис. 3.

Данный электрогенератор представлял собой цилиндр диаметром 200 мм, длиной 1000 мм и массой 180 кг, имеющий составной герметичный корпус 4, 5 из высокопрочной легированной стали, способный выдержать внутреннее давление до 500 МПа. Во внутреннем объеме корпуса 4, 5 вертикально располагался «жидкостный незатухающий колебательный контур», образованный трубой 1, ударным клапаном 3 и трубой 2, состоящими из металлических оболочек 6, 8, между которыми находилась оболочка 7 из пьезокерамики «ЦТС-19М».

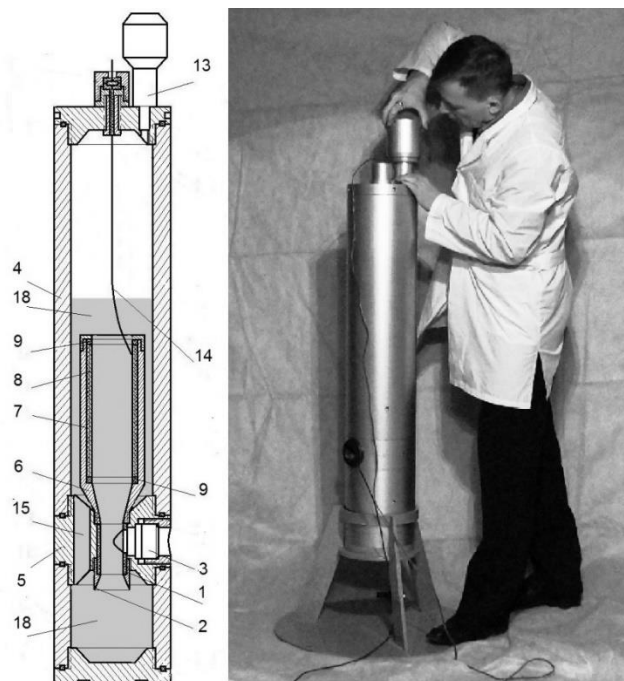


Рис. 3. Конструктивная схема электрогенератора

Торцы трубки 7 для создания всестороннего сжатия поджимались в оболочках 6, 8 шайбами 9 из обычной керамики, не обладающей пьезоэлектрическими свойствами. В качестве жидкости 18 использовалась дистиллированная вода. При этом для свободного прохода жидкости из верхней части внутреннего объема корпуса 4, 5 в его нижнюю часть и, таким образом, возврата жидкости, истекающей из трубы 2, в трубу 1, в детали корпуса 5 имелось сквозное отверстие 15. На входе трубы 1 имелся конический обтекатель 2 для создания

равномерности входа жидкости в трубу 1. А для создания требуемого отношения  $a_1/a_2$  в цилиндрической части трубы 1 использовался цилиндрический вкладыш 1 из определенной конструкционной пластмассы. В данном электрогенераторе использовался ударный клапан 3, конструктивная схема которого приведена на Рис. 4. Данный клапан имел подвижный металлический шток 5 с полуконической головной частью, способный под напором воды свободно перемещаться в деталях 2, 6.

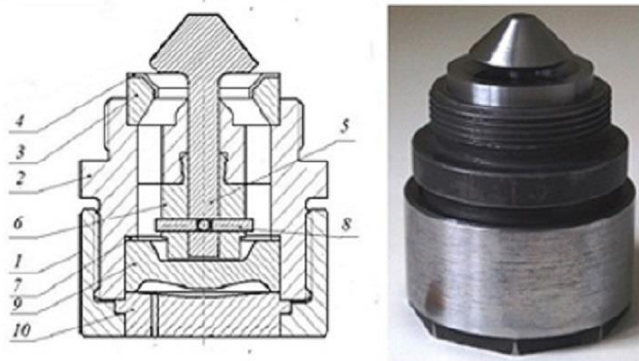


Рис. 4. Конструктивная схема ударного клапана

Шток 5 в начальном положении удерживался в обойме 6 четырьмя штифтами 8. А жидкость внутри клапана, находящаяся под давлением газа, удерживалась деталью 9, герметизирующей прокладкой 7 и мембраной 10. Мембрана 10, деталь 9 и прокладка 7 поджимались для придания прочности и герметичности гайкой 1.

Открытие ударного клапана достигалось срезом заземленной кромки мембраны 10 под действием газов порохового заряда, который располагался в полости, образованной деталью 9, мембраной 10, и воспламенялся через отверстие в мембране 10. В результате отделения мембраны жидкость истекала с увеличивающейся скоростью через открывшееся проходное сечение, образованное деталями 2, 3, 4, 5, до момента, когда движущийся шток 5 перекрывал это сечение. Конструкция и масса деталей 5, 8, 9, 10 обеспечивала время отстрела мембраны 10 много меньшее, чем время разгона жидкости в ударном клапане. Внешний вид некоторых деталей и узлов электрогенератора показан на Рис. 5.

Для создания над поверхностью жидкости требуемого начального давления газа в качестве газа использовался азот, закачиваемый через обратный клапан 13. Слив жидкости через ударный клапан производился непосредственно в атмосферу, так как параметры «гидроударного незатухающего колебательного контура» для данного электрогенератора обеспечивали давление жидкости в конце каждого цикла нагнетания в трубе 1 большее, чем атмосферное давление.

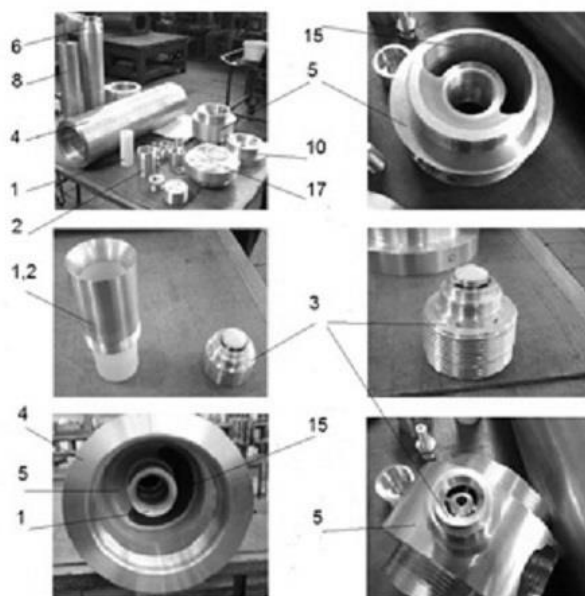


Рис. 5. Внешний вид основных деталей электрогенератора

Указанные испытания происходили в два этапа. На первом этапе вместо оболочки из пьезоэлектрического материала использовалась оболочка из дюрала, так как модуль упругости на растяжение дюрала примерно такой же, как у применяемого пьезоэлектрического материала. Это позволяло определять параметры «гидроударного незатухающего колебательного контура» без возможного влияния каких-либо процессов, связанных с возможным электрическим пробоем жидкости, разрушением пьезоэлектрического материала и некорректным решением задачи получения определенных выходных характеристик электрического тока.

На данном этапе определялись масса порохового заряда для среза заземленной кромки мембраны 10, напряжение среза материалов штифтов 8 ударного клапана, значения параметров  $a_1$ ,  $a_2$ , значение скорости  $U_{01}$ , значения давления  $P'_{k1}$  жидкости в трубе 1 и давления жидкости  $P'_{k2}$  в трубе 2 при гидравлическом ударе. Для этого в сечении трубы 1, где находился ударный клапан 3, устанавливался малоинерционный датчик давления серии «138» [6]. Такой же датчик размещался в металлической трубке с относительно малым диаметром, которая устанавливалась в трубе 2 по ее центральной оси. Металлическая трубка-зонд (где располагался датчик) с одной стороны подходила к району сопряжения трубы 2 с трубой 1, а с другой стороны выходила из верхней крышки корпуса 4, 5 через специальный узел изоляции и герметизации, который на втором этапе испытаний предназначался для вывода генерируемых электрических зарядов. При срезе штифтов 8 в течение времени с момента отстрела мембраны 10 до момента закрытия ударного клапана датчиком давления, установленным в металлической трубке-зонде, измерялось падение статического давления за счет приобретения водой некоторой скорости жидкости в трубе 2 в направлении трубы 1 и по нему – значение этой скорости. Далее, по диаграммам измеренного давления в трубе 1 и трубе 2, вид которых представлен на Рис. 6, определялись давление  $P'_{k1}$  в трубе 1 и давление  $P'_{k2}$  в трубе 2, если оно отличалось от давления  $P'_{k1}$  до момента наступления установившегося цикла работы. А по временам действия давления  $t_2$  в трубе 1 и времени  $t_3$  в трубе 2 определялось значение скорости распространения возмущения  $a_1 = L_1 / 2t_2$  и скорости возмущения  $a_2 = 2L_2 / t_3$ .

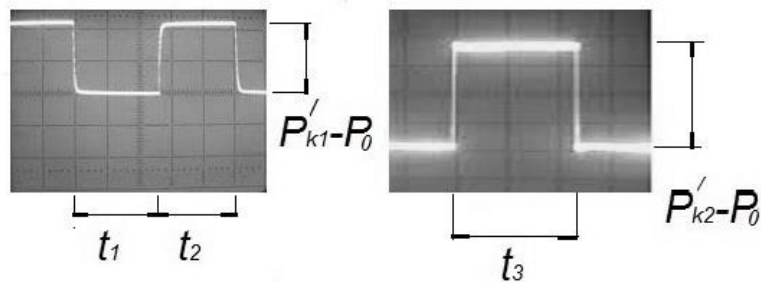


Рис. 6. Диаграмма измеренного давления в трубе 1 и трубе 2

Изменением массы порохового заряда, величины давления азота, материала штифтов 8 с разной прочностью на срез и длины конической части оболочки 6 в процессе испытаний генератора были достигнуты равенство  $t_1 = t_2$  и равенство  $P'_{k1} = P'_{k2}$ , которые свидетельствовали о получении установившегося режима работы.

По диаграмме измеренного давления в трубе 2, вид которой показан на Рис. 7, по истечении времени  $t_3$ , равного 0,3 мсек ( $t_3 = 0,292$  мсек – расчетное значение), было получено, что давление в трубе 2 оказалось равно 243 МПа (247 МПа – расчетное значение) и оставалось неизменным в течение любого времени проведения измерений.

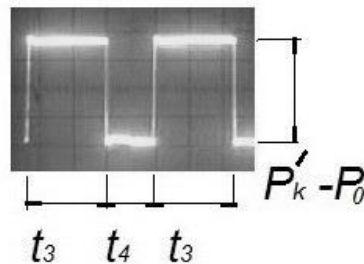


Рис. 7. Диаграмма измеренного давления в трубе 2

Величина давления в трубе 2, равная 243 МПа, периодически и стабильно повторялась с паузой по времени, длящемся в течение времени  $t_4$ , что также свидетельствовало о наличии установившегося цикла работы с давлением  $P_{k1}' = P_{k2}'$ , равным 243 МПа.

В итоге, при исходных данных, принятых при проектировании данного электрогенератора, экспериментально были получены следующие параметры:  $a_1 = 887$  м/сек,  $a_2 = 1857$  м/сек,  $U_{01} = 332$  м/сек. Эти параметры не существенно отличались от теоретических параметров.

На втором этапе испытаний электрогенератора с длиной оболочки 6, равной 0,28 м, использовалась оболочка 7 длиной 0,21 м из пьезоэлектрического материала «ЦТС-19М». Эти испытания показали повторяемость диаграмм давления, представленных на Рис. 6, 7.

При давлении  $P_{k1}' = P_{k2}'$ , равном 243 МПа, на оболочках 6, 8 теоретически ожидалось получение напряжения электрических зарядов, равное 18560 вольт. Этому напряжению зарядов, из-за наличия конической части трубы 2, должна была соответствовать максимальная электрическая мощность, равная 144 кВт.

Представление об этих испытаниях, как и об эволюции «гидравлического тарана» в «жидкостный не затухающий колебательный контур», а затем и в электрогенератор с пьезоэлектрическим источником электроэнергии, с подробным объяснением, как работает «гидроударный незатухающий колебательный контур», можно получить из видеофильма [4].

В конструкции электрогенератора, приведенной на Рис. 3, генерируемые электрические заряды выводились наружу стальным проводом 14, который прикреплялся с одной стороны винтом к оболочке 8, а с другой – к электрическому выводу, пропущенному наружу через электроизоляционную керамическую трубку узла изоляции и герметизации, установленного в верхней крышке корпуса 4, 5. При этом плюсовым электродом являлся провод 14, а отрицательным – корпус 4, 5. А для преобразования генерируемых электрических зарядов в электрический ток использовалась оригинальная электрическая схема, представленная на Рис. 8, так как генерируемые пьезоэлектрическим материалом электрические заряды могут быть трансформированы в электрический ток только с помощью определенных электрических схем [17] с электронными компонентами. Данная схема подключалась ключом  $KL$  к генератору  $G$  и содержала: накопительный конденсатор  $C_3$  емкостью 240 мкф, в качестве которого использовался мощный конденсатор КПИ-8-240 [7], нагрузочный резистор  $Z_2$ , состоящий из шести параллельно соединенных многофункциональных нагрузочных модулей АКПП-1341 [8] с суммарной мощностью до 180 кВт, высоковольтный диод  $VD_1$ , состоящий из двух последовательно соединенных диодов SSDF10H6004 [5], транзистор  $TR$ , в качестве которого использовался транзистор Т0900DF65А [10], конденсатор  $C_1$  емкостью 4,7 мкф для ограничения напряжения на входе транзистора  $TR$  более 5400 вольт, электронный блок управления  $U$  для создания стабилизированного напряжения электрического тока, питание которого обеспечивалось резистором  $Z_1$ , диодом  $VD_2$  и конденсатором  $C_2$ .

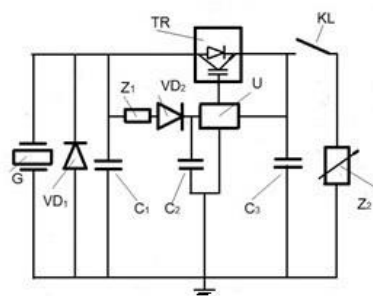


Рис. 8. Электрическая схема

При ожидаемой электрической мощности 144 кВт и такой же мощности на резисторе  $Z_2$  ставилась задача получения на этом резисторе и, соответственно, на конденсаторе  $C_3$  стабилизированного напряжения, равного 220 вольт.

Прямые измерения напряжений на конденсаторах  $C_1$  и  $C_2$  показали, что при отрегулированном блоке управления  $U$  и при любой нагрузке, соответствующей мощности от нуля до  $127 \pm 3$  кВт, напряжение на конденсаторе  $C_1$ , было равным  $5140 \pm 50$  вольт, а напряжение на конденсаторе  $C_3$  и, соответственно, на нагрузке, равным  $215 \pm 5$  вольт. При нагрузке, соответствующей мощности более  $127 \pm 3$  кВт, напряжение на конденсаторе  $C_3$  и, соответственно, на нагрузке, как и рассчитывалось, было равным нулю.



Таким образом, максимальная электрическая мощность данного электрогенератора составляла  $127 \pm 3$  кВт, что меньше в среднем на 12 % ожидаемой мощности, равной 144 кВт, и на 18 % теоретической мощности. Мощности, равной 127 кВт, при экспериментально полученном времени одного цикла нагнетания, равном  $T = 1,55t_3$ , соответствовала электрическая энергия, полученная в одном цикле нагнетания, примерно равная 59 джоулей. А расчетная энергия, используемая на создание одного цикла нагнетания, что находилась перед циклом нагнетания в трубе 1, составляла 1675 джоулей. Таким образом, коэффициент полезного действия генератора, если его считать по выходной электрической энергии, был равным  $\sim 0,035$ .

Данный электрогенератор с указанной выше электрической схемой трансформации генерируемых электрических зарядов, периодически подключаемый к различной нагрузке (от бытовых электрических приборов до мощных промышленных устройств, использующих однофазный ток постоянного напряжения), непрерывно работал в лабораторных условиях при разной температуре окружающей среды без каких-либо изменений давления, мощности и напряжения тока два года. При дальнейшей его эксплуатации с различными нагрузками было отмечено 3 – 4 % уменьшение его мощности в год без потери начального давления в резервуаре, что можно объяснить имеющим место при длительной работе пьезоэлементов уменьшением со временем величины их пьезоэлектрических модулей.

Результаты испытания пробного электрогенератора проектной мощностью 156 кВт дали основания считать разработанную теорию «жидкостного незатухающего колебательного контура» и электрогенерирующего модуля с пьезоэлектрическим источником электроэнергии с предлагаемой электрической схемой преобразования электрической энергии пригодной для проектирования и создания подобных электрогенераторов с заданной максимальной электрической мощностью. По этой теории впоследствии были разработаны и созданы электрогенераторы с более совершенной конструкцией трубы 2 и схемой размещения в ней пьезоэлектрического материала. Данные электрогенераторы при габаритах, которые имел электрогенератор мощностью 156 кВт, генерировали мощность до 1500 кВт с заданным стабилизированным постоянным напряжением и, при необходимости, с переменным напряжением, без использования дополнительных преобразователей напряжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марухин, В. В. Некоторые теоретические обоснования и экспериментальные доказательства работоспособности нового водоподъемного устройства, как источника экологически чистой энергии / В. В. Марухин, В. А. Кутьенков, В. И. Иванов // *Альтернативная Энергетика и Экология*. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
2. Марухин, В. В. Новое водоподъемное устройство, как источник экологически чистой энергии / В. В. Марухин, В. А. Кутьенков, В. И. Иванов // *Альтернативная Энергетика и Экология*. – 2005. – № 9. – С. 39–46.
3. Чистопольский, С. Д. Гидравлический таран / С. Д. Чистопольский. – М.: Сельхозгиз, 1930.
4. Видеоматериалы «Эволюция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yadi.sk/d/JFO0wISWhKcJj>.
5. Каталог продукции компании «Дунех». Диоды и диодные сборки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynexsemi.com>.
6. Каталог продукции компании «PCB Piezotronics». Датчики и Первичные преобразователи давления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pcb-group.ru/private/pcb-group-ru/prices/30-33.pdf>.
7. Каталог продукции компании «Русская технологическая группа». Малоиндуктивные импульсные конденсаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rustechgroup.ru>.
8. Каталог продукции компании «Элиз». Нагрузочное электрооборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elizpribor.ru>.
9. Каталог продукции компании «ЭЛПА». Пьезокерамические элементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elpapiezo.ru>.
10. Каталог продукции корпорации «IXYS UK». Транзисторы и транзисторные сборки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.westcode.com>.
11. Марухин, В. В. Основы теории бестопливного пьезоэлектрогенератора с «гидродарным незатухающим колебательным контуром» / В. В. Марухин, В. И. Иванов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yadi.sk/d/h0nfQr7Lrghcb>.
12. Марухин, В. В. Патент № 019159. Евразийская патентная организация (ЕАПО). МКИ F04F 7/02. Гидротаранный электрогенератор / В. В. Марухин // *Бюллетень ЕАПО*. – 2014. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eapo.org>.
13. Марухин, В. В. Патент № 020688. Евразийская патентная организация (ЕАПО). МКИ F04F 7/02. Гидротаран в гидротаране / В. В. Марухин // *Бюллетень ЕАПО*. – 2015. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eapo.org>.
14. Марухин, В. В., Кутьенков, В. А. Патент № 005489. Евразийская патентная организация (ЕАПО). МКИ F04F 7/02. Водоподъемное устройство / В. В. Марухин, В. А. Кутьенков // *Бюллетень ЕАПО*. – 2005. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eapo.org>.
15. Марухин, В. В., Кутьенков, В. А. Патент № 010732. Евразийская патентная организация (ЕАПО). МКИ F04F 7/02. Подводный гидравлический таран / В. В. Марухин, В. А. Кутьенков // *Бюллетень ЕАПО*. – 2008. – № 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eapo.org>.
16. Некоторые задачи теории упругости. Расчет на прочность толстостенных цилиндров. Задача Ламе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sopromat.vstu.ru/metod/lek/lek\\_13.pdf](http://sopromat.vstu.ru/metod/lek/lek_13.pdf).
17. Панич, А. А. Возобновляемые источники электрической энергии на основе твердотельного пьезокерамического преобразователя: НКТЬ «ПЬЕЗОПРИБОР» / А. А. Панич [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/546271/>.