

Нефедов Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент. Тел. +38-057-705-35-39.

E-mail: yuriy_nefedov@mail.ru

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина. Пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166

ДАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА – АЛЬТЕРНАТИВА НАПОРА ВОДЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье показано, что увеличение давления потока воды в гидросистеме после гидравлического удара (гидроудара) можно использовать для вращения гидротурбины электростанции так же, как и при повышении для этого напора воды в плотинных гидроэлектростанциях. Показаны возможности применения гидроаккумуляторов для стабилизации давления и расхода воды после гидроудара. Рассматриваются основные закономерности протекания полного и не полного гидроудара. Раскрыты преимущества гидроударных электростанций по сравнению с плотинными гидроэлектростанциями и со всеми иными электростанциями такой же мощности. К неоспоримым преимуществам относятся прежде всего отсутствие необходимости потребления энергии от внешних источников, низкие затраты на проектирование, изготовление и эксплуатацию. В качестве источника возобновляемой энергии используются силы инерции постоянного объема циркулирующей воды. Малые габариты гидроударных электростанций позволяют использовать их непосредственно в месте потребления электроэнергии, поэтому исключаются потери при её транспортировке. Гидроударные электростанции не влияют на изменения окружающей среды, не загрязняют воду, воздух и почву. За счет регулирования работы клапанов можно существенно повысить выходную мощность электростанции, используя быстродействующие современные электромагнитные клапаны или клапаны с электроприводом, включение и отключение которых осуществляется по заданной программе. Исследуется возможность использования разработанной гидроударной установки для вращения ковшовой гидротурбины и производства электроэнергии. Широкое внедрение гидроударных электростанций повышенной мощности позволит навсегда избавиться от использования дорогостоящих энергоносителей и сохранить в чистоте среду обитания человека.

Ключевые слова: гидроудар; гидротурбина; гидроаккумулятор; гидроэлектростанция.

Нефедов Юрій Іванович, канд. техн. наук, доцент, Тел. +38-057-705-35-39.

E-mail: yuriy_nefedov@mail.ru

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна. Пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166

ТИСК ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ – АЛЬТЕРНАТИВА НАПОРУ ВОДИ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

У статті показано, що збільшення тиску потоку води в гідросистемі після гідравлічного удару (гідроудару) можна використовувати для обертання гідротурбіни електростанції так само, як і при підвищенні для цього напору води в гребельних гідроелектростанціях. Показано можливості застосування гідроаккумуляторів для стабілізації тиску і витрати води після гідроудару. Розглядаються основні закономірності перебігу повного і неповного гідроудару. Розкрито переваги гідроударних електростанцій в порівнянні з греблею гідроелектростанції і з усіма іншими електростанціями такої ж потужності. До незаперечних переваг відносяться перш за все відсутність необхідності споживання енергії від зовнішніх джерел, низькі витрати на проектування, виготовлення та експлуатацію. Як джерело відновлюваної енергії використовуються сили інерції постійного об'єму циркулюючої води. Малі габарити гідроударних електростанцій дозволяють використовувати їх безпосередньо в місці споживання електроенергії, тому виключаються втрати при її транспортуванні. Гідроударні електростанції не впливають на зміни навколишнього середовища, не забруднюють воду, повітря і ґрунт. За рахунок регулювання роботи клапанів можна істотно підвищити вихідну потужність електростанції, використовуючи швидкодіючі сучасні електромагнітні клапани або клапани з електроприводом, вмикання або вимикання яких здійснюється за заданою програмою. Досліджується можливість використання розробленої гідроударної установки для обертання ковшової гідротурбіни і виробництва електроенергії. Широке впровадження гідроударних електростанцій підвищеної потужності дозволить назавжди позбутися від використання дорогих енергоносіїв та зберегти в чистоті середовище проживання людини.

Ключові слова: гідроудар; гідротурбіна; гідроаккумулятор; гідроелектростанція.

Nefedov Yuriy Ivanovich, Candidate of Engineering, Associate Professor. Tel. +38-057-705-35-39.
E-mail: yuriy_nefedov@mail.ru
Kharkov National University of Radio electronics. Kharkov, Ukraine. Ave. Nauky, 14, Kharkov, Ukraine, 61166

HYDRAULIC BLOW PRESSURE – AN ALTERNATIVE TO WATER PRESSURE IN HYDROELECTRIC POWER STATIONS

The article shows that an increase in the pressure of the water flow in the hydraulic system after a hydraulic shock (water hammer) can be used to rotate the hydroturbine of a power plant in the same way as when the water pressure is increased in dam hydroelectric plants. The possibilities of using accumulators to stabilize the pressure and flow rate of water after a water hammer are shown. The basic laws of the course of complete and incomplete hydroblow are considered. The advantages of hydraulic shock power plants in comparison with dam hydroelectric power stations and with all other power plants of the same capacity are disclosed. Indisputable advantages include, first of all, the absence of the need for energy consumption from external sources, low costs for design, manufacture and operation. The inertia forces of a constant volume of circulating water are used as a source of renewable energy. The small dimensions of hydroshock power plants make it possible to use them directly in the place of electricity consumption, therefore losses during its transportation are excluded. Water hammer power plants do not affect environmental changes, do not pollute water, air and soil. By regulating the operation of the valves, it is possible to significantly increase the power output of the power plant using modern high-speed solenoid valves or electric valves, which are turned on and off according to a given program. The possibility of using the developed hydraulic shock installation to rotate a bucket hydraulic turbine and generate electricity is being investigated. The widespread introduction of high-impact hydroelectric power plants will permanently get rid of the use of expensive energy sources and keep the human environment clean.

Keywords: hydraulic blow; hydraulic turbine; hydraulic accumulator; hydroelectric power station.

Введение

Гидравлический удар (гидроудар) был впервые исследован в начале 20 века Н. Е. Жуковским как явление, связанное с сильным повышением давления при быстром торможении или ускорении потока жидкости, в результате чего возможен разрыв гидросистемы. Если движущийся поток жидкости уменьшает скорость своего движения перед сужением гидросистемы, например, в результате прохождения узкого сечения открытого отбойного клапана гидротарана, то, согласно уравнению Бернули, в узком сечении клапана статическое давление жидкости уменьшается и, наоборот, перед ним статическое давление увеличивается. В результате такого перепада давлений отбойный клапан закрывается и возникает гидроудар с образованием ударной волны высокого давления, распространяющейся в жидкости со скоростью звука (для воды $C = 1400$ м/с) с амплитудой давления

$$p = \rho vC, \tag{1}$$

где ρ – плотность жидкости;
 v – максимальная скорость потока.

Даже при сравнительно небольшой скорости потока воды $v=1$ м/с, амплитуда давления составляет ~ 14 атм. И лишь незначительная его часть (до 20 %) используется в гидротаранных установках для подъёма воды. Разработанные современные технологии позволяют не только использовать бóльшую часть энергии давления гидроудара для выполнения полезной работы, но и значительно увеличить давление гидроудара [1, 2, 3]. Энергия в гидроударных системах вырабатывается при быстрых изменениях скорости течения воды, вызванных её торможением или ускорением, т. е. за счёт инерции потока. Инерционные изменения состояния жидкости мало изучены, но уже давно используются в гидро – и тепло энергетических системах: в гидротаранах (насосах), в роторно-импульсных аппаратах, применяемых для обработки продуктов и полезных ископаемых в пищевой и фармацевтической промышленности [4], в горно-добывающей промышленности, в ударно-импульсных механизмах используемых в фонтанах и для полива растений, где струи воды переносятся на расстояния более 50 м, в гидроударных электростанциях [1, 2, 3], в

кавитационных теплогенераторах [5] и пр. По принципу отбора энергии все гидроударные системы можно разделить на 2 основные группы: гидроударные системы, в которых имеет место полный гидроудар и дискретно-импульсные, где осуществляется неполный гидроудар. Рассмотрим особенности отбора энергии в каждой из этих групп.

Отбор энергии при полном гидроударе

При быстром торможении потока жидкости, когда время торможения t_1 (время перекрытия потока) меньше длительности фазы гидроудара τ , в месте торможения возникает полный гидроудар с образованием ударной волны, распространяющейся со скоростью звука C и амплитудой давления, определяемой по формуле Жуковского (1). Рассмотрим особенности протекания полного и не полного гидроудара на примере работы гидроударной электростанции небольшой мощности [1]. Блок-схема гидроударной электростанции в разрезе приведена на рис. 1, где изображены: водопроводная труба с краном 1, напорный бак 2, напорная труба 3 высотой $h=2$ м, пусковой кран 4, обратный клапан 5 с противовесом 6, питающая труба 7, отбойный клапан 8 с противовесом 9, нагнетательный клапан 10 с противовесом 11, водовод 12, манометр 13, гидроаккумулятор 14, клапан рабочего давления 15, труба рабочего давления с соплом на конце 16, гидрогенератор 17, состоящий из гидротурбины и электрогенератора, распределительный электрощит 18, вертикальная труба 19, труба отвода отработанной воды 20, электронасос 21, напорный трубопровод 22, соединительные электрические проводники 23. Напорный бак 2 через водопроводную трубу 1 наполняется водой и пусковой кран 4 открывается. Вода через открытый обратный клапан 5 поступает в питающую трубу 7 и далее через узкое сечение открытого отбойного клапана 8 вытекает, создавая полный гидроудар, при котором отбойный клапан 8 закрывается. Образующаяся ударная волна высоким давлением закрывает обратный клапан 5 и открывает нагнетательный клапан 10, через который вода поступает в водовод 12 и высоким давлением закрывает нагнетательный клапан 10.

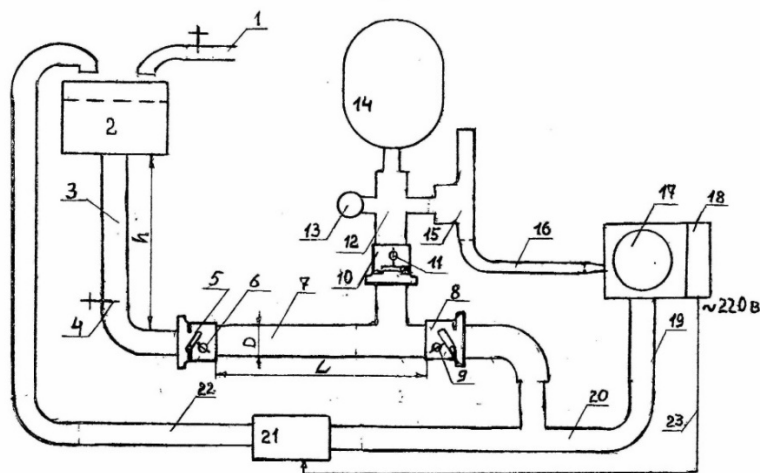


Рис. 1. Блок-схема гидроударной электростанции

В питающей трубе 7 создаётся разрежение, в результате чего отбойный 8 и обратный 5 клапаны открываются, как показано на рис. 1. Как будет показано далее, кратковременная задержка потока воды у закрытого отбойного клапана 5 позволяет увеличить скорость потока после открытия. Если создать скорость потока, например, $v=6$ м/с, то амплитуда давления ударной волны (1) составит 84 атм. Такого давления вполне достаточно для

вращения турбин гидроударных электростанций и для нагрева воды в системах отопления [1, 2, 5, 6]. Однако для вращения гидротурбины электростанции необходимо использовать поток воды с постоянными давлением p (напором H) и расходом Q . Поэтому амплитуду давления ударной волны (1) и расход надо преобразовать в постоянные (стабилизированные) значения, действующие на протяжении всего периода работы гидроударной установки. Положительная полуволна фазы давления ударной волны близка по форме к гармонической, а отрицательная - соответствует фазе разряжения. Не учитывая фазы разряжения и возможные небольшие гидравлические потери давления в водоводе 12 и гидроаккумуляторе 14, можно считать, что действующее стабилизированное давление положительного полупериода ударной волны будет примерно в 3 раза меньше амплитудного значения и составит для скорости потока $v=6$ м/с 28 атм, что соответствует напору $H = 280$ м. Простые расчёты [6] позволяют определить напор воды гидроударной электростанции, соответствующий напору плотинной электростанции при одинаковом расходе воды:

$$H = (v \cdot C) / 3g, \quad (2)$$

где $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения.

Даже при небольшом расходе воды ($\sim 0,05$ м³/с) и напоре 280 м гидроагрегаты с ковшовой турбиной Пелтона вырабатывают до 100 квт электрической мощности [6]. Повышая расход воды Q и напор H , можно получить выходную электрическую мощность гидроударной электростанции 4 Мвт и больше [2].

Отбор энергии при неполном гидроударе

Если время перекрытия заслонки трубопровода или клапана τ_1 (время торможения потока) превышает длительность фазы полного гидроудара τ , происходит неполный гидроудар, используемый в ударно-импульсных механизмах различного назначения и получивший название дискретно-импульсный ввод энергии (ДИВЭ) [2].

Рассмотрим основные гидравлические процессы, имеющие место при не полном гидроударе, на примере работы обратного клапана, установленного на входе питающей трубы 7 гидроударной электростанции [1,2,3,5]. В конце питающей трубы 7 у открытого отбойного клапана происходит торможение потока воды, полный гидроудар с образованием ударной волны, движущейся со скоростью C навстречу потоку и закрывающей обратный клапан. При быстром перекрытии потока на выходе обратного клапана 5 возникает эффект полного гидравлического удара с большой амплитудой давления (1) и длительностью фазы удара [4]:

$$\tau = (2L)/C, \quad (3)$$

где L – длина питающей трубы. Так, для $L = 3$ м, длительность фазы удара $\tau = 4,2$ мс.

Однако, если время торможения потока τ_1 превышает длительность фазы удара τ (3), происходит неполный гидравлический удар, после которого амплитуда давления ударной волны возрастёт на величину Δp и станет равной

$$\Delta p = \{\rho(v_{\max} - v_{\min})L\} / \tau_1, \quad (4)$$

где v_{\max} – скорость потока в начале торможения, а v_{\min} – в конце торможения [4].

Торможение потока воды у обратного клапана 5 начинается в момент воздействия на него отражённой от конца питающей трубы 7 ударной волны полного гидроудара. Двигаясь в направлении противоположном течению потока, ударная волна на пути $L = 3$ м теряет скорость примерно в два раза. Поэтому скорость потока в начале торможения v_{\max} так же снизится в два раза. Если время торможения потока τ_1 велико и превышает длительность

фазы гидроудара τ , то конечную скорость потока v_{\min} можно принять равной нулю. Тогда амплитуда ударной волны после не полного гидроудара (4) будет большой и может привести к нарушению работы гидроударной электростанции.

Увеличение скорости потока воды

Назначение обратного клапана 5 перекрыть поток воды на короткое время её прохода в водовод 12 и увеличить скорость потока v_0 в момент открытия обратного клапана. Роль демпфера, уменьшающего амплитуду (4) неполного гидроудара, выполняет нагнетательный клапан 10, который должен находиться в открытом состоянии большее время τ_2 , чем время торможения τ_1 обратного клапана 5. Если нагнетательный клапан 10 открывается в момент закрытия обратного клапана 5, а $\tau_2 > \tau_1$ и время торможения τ_1 не велико, то скорость потока v_{\min} не успеет значительно уменьшиться по сравнению с v_{\max} , так как увеличивается проходная площадь сечения выходящего из питающей трубы 7 потока за счёт открытого нагнетательного клапана 10. В этом случае в соотношении (5) разность скоростей, а следовательно и амплитуда неполного гидроудара будут незначительны. Если обратный 5 и нагнетательный 10 клапаны соединены жёсткой связью и срабатывают одновременно [1], то в момент закрытия обратного клапана, нагнетательный клапан полностью открывается и поэтому скорости в начале и в конце торможения потока у обратного клапана будут одинаковыми, а амплитуда неполного удара (4) будет равна нулю. Однако в этом случае вся вода за короткое время τ_1 не успеет переместиться в водовод 12. Если же нагнетательный клапан 10 откроется сразу после полного гидроудара в конце питающей трубы 7, но раньше, чем закроется обратный клапан 5, и $\tau_2 > \tau_1$, то скорость потока воды v_{\max} на выходе обратного клапана в момент его открытия значительно уменьшится, что приведёт к уменьшению и амплитуды давления ударной волны (4) в момент его закрытия. При этом бóльший объём воды покинет питающую трубу 7 через нагнетательный клапан 10.

Скорость потока воды v_0 на выходе обратного клапана 5 в момент его открытия будет зависеть от разности (перепада) давлений на его входе $p_{\text{вх}}$ и выходе $p_{\text{вых}}$:

$$\Delta p_0 = |p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}|. \quad (5)$$

Наибольший интерес представляет случай, когда разность давлений Δp_0 на концах обратного клапана, а следовательно и v_0 , принимают наибольшие значения. Если высота напорной трубы 3 составляет 2 м, то при закрытом обратном клапане на его входе устанавливается избыточное давление $p_{\text{вх}} = 0,2$ атм. Обратный клапан должен открываться в момент времени прохождения на его выходе фазы разряжения, возникающей после фазы полного гидроудара в питающей трубе 7. Если это давление составляет $p_{\text{вых}} = -0,8$ атм, то общий перепад давлений (5) составит $\Delta p_0 = 1$ атм. Уменьшение давления до $-0,8$ атм допустимо, так как оно более чем на порядок превышает давление насыщенного пара в широком диапазоне изменения рабочих температур, при котором возникает кавитация жидкости. Перепаду давления на концах обратного клапана 5 в 1 атм соответствует увеличение напора на его входе до величины $h = 10$ м, что приведёт к ускорению потока воды после его открытия до максимальной скорости $v_0 = 14$ м/с. Учитывая реальные гидравлические потери на трение в питающей трубе 7, скорость потока у отбойного клапана 8 составит примерно 10 м/с [1, 3]. При такой скорости потока v_0 амплитуда давления ударной волны (1) после полного гидроудара составит $p = 135$ атм или $135 \cdot 10^5$ Па. Меньшему значению разряжения на выходе ударного клапана 5 будут соответствовать меньшие значения скорости потока v_0 и амплитуды давления p (1). Так, например, если $p_{\text{вых}} = -0,4$ атм, то перепад давлений на входе и выходе обратного клапана 5 (5) составит 0,6 атм, скорость $v_0 = 6$ м/с, а $p = 84$ атм. Такой амплитуде ударной волны будет соответствовать стабилизированное давление воды на выходе гидроударной установки 28 атм, что

эквивалентно напору гидроэлектростанции $H=280$ м. При данном напоре и небольшом расходе воды $Q = 0,05$ м³/с электрическая мощность гидроагрегатов с ковшовой турбиной Пелтона составляет 100 кВт [6].

Необходимое время торможения потока t_1 для формирования нужной скорости v_0 должно включать длительность фазы полного гидроудара (3) и длительность части фазы разряжения.

Нужное время остановки потока технически можно реализовать, используя для этого, обратный клапан с противовесом, например ДУ 100 [7], противовес которого установлен на внешнем рычаге, параллельном центральной оси клапана и скреплённом с заслонкой клапана. Перемещая противовес вдоль рычага и закрепляя его на определённом расстоянии от заслонки клапана 5, можно изменять момент силы, действующий на заслонку, увеличивая или уменьшая тем самым время задержки потока входе обратного клапана. Аналогичным образом можно регулировать время срабатывания отбойного 8 и нагнетательного 10 клапанов. Обратный 5 и нагнетательный 10 клапаны работают по регламенту – на закрытие обратным потоком воды. Отбойный клапан устанавливается открытой заслонкой против потока, как показано на рис. 1. Это позволяет быстро закрывать его повышенным давлением тормозящегося у заслонки потока, создавая полный гидроудар. Для регулирования времени срабатывания отбойного клапана и сокращения времени полного гидроудара, надо уменьшать ширину проходной (открытой) части клапана ограничением свободного хода рычага.

Стабилизация давления и расхода воды

Вращение ковшовой турбины электростанции осуществляется потоком постоянного давления и напора воды. Стабилизацию потока (давления и расхода воды) на протяжении всего цикла работы в гидроударной электростанции выполняет гидроаккумулятор 14 и водовод 12. В пневмогидравлических аккумуляторах с мембранным разделением газовой и жидкостной камер накопление энергии и возвращение её в систему осуществляется за счёт энергии сжатого газа (азота или воздуха). Наиболее пригодными для стабилизации потока воды являются мембранные гидроаккумуляторы, которые, имея небольшие размеры, используются там, где необходима быстрая отдача запасённой энергии [3,8]. Зарядное давление газа в их газовой камере может достигать 100 атм и более, а давление жидкости сжимает газ ещё большим давлением. Под высоким давлением ударной волны упругая мембрана гидроаккумулятора 14 прогибается и сжимает газ до объёма V_1 , повышая его давление до значения p_1 . При этом объём жидкости в гидроаккумуляторе 14 увеличивается, а её давление уменьшается. Газ высоким давлением прогибает мембрану в направлении жидкости и увеличивает её давление, после чего давление газа уменьшается до величины p_2 , а его объём увеличивается до значения V_2 . Процесс изменения состояния газа является адиабатным и описывается уравнением [3]:

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n, \tag{6}$$

где $n = 1,4$ для азота.

Из уравнения (6) имеем

$$p_2 = p_1 (V_1 / V_2)^n. \tag{7}$$

При повышении давления p_1 , когда газ сжимается, отношение V_1 / V_2 уменьшается, а произведение $p_1 (V_1 / V_2)^n$ может оставаться неизменным, т. е. в соотношении (7) $p_2 = \text{const}$ при определённом соотношении между V_1 , V_2 , и p_1 . Вследствие не сжимаемости жидкости и расход воды Q также будут оставаться постоянным. Необходимым условием стабилизации давления и расхода воды является также выбор правильного соотношения между объёмами газа и жидкости в стабилизирующей системе. Объём воды можно изменить, меняя объём

водовода 12. Чтобы бóльшая часть воды из питающей трубы 7 в каждом периоде работы гидроударной электростанции использовалась для вращения турбины, общий объём водовода 12 и жидкостной камеры гидроаккумулятора 14 должен занимать объём, равный объёму воды в питающей трубе 7. А чтобы бóльшая часть воды поступала из питающей трубы в этот объём, необходимо закрывать нагнетательный клапан 10 в конце фазы полного гидроудара. Клапан рабочего давления 15 выполняет функции регулируемого пружинного предохранительного клапана и открывается, когда давление на его входе станет равным стабильному давлению жидкости на выходе гидроаккумулятора 14. Зарядное (начальное) давление газа в газовой камере гидроаккумулятора 14 должно быть меньше, чем наибольшее давление воды в жидкостной камере и меньше рабочего давления, при котором открывается клапан 15. Регулирование давления в водоводе 12 осуществляется путём изменений расположения противовесов на внешних рычагах клапанов 5, 8, 10 по показаниям манометра 13. Для стабилизации потока можно использовать вместо обычного гидроаккумулятора 14 гидроаккумулятор с разделёнными входом и выходом [1,8]. В этом случае отпадает необходимость использования клапана рабочего давления 15, так как его роль выполняет упругая мембрана, разделяющая газовую и жидкостную камеры гидроаккумулятора. Высоким установочным давлением газа мембрана растягивается и перекрывает проход воды из входного отверстия в выходное до тех пор, пока давление жидкости не превысит давление газа. Такие гидроаккумуляторы менее инерционны, чем обычные с общим входом-выходом, и, поэтому, в последнее время чаще применяются для стабилизации давления и расхода воды [8].

Система циркуляции воды

Отработанная вода, вытекающая из отбойного клапана 8 и турбины гидрогенератора 17, поступает в трубу отвода отработанной воды 20, откуда при помощи электронасоса 21 через напорный трубопровод 22 подаётся в напорный бак 2, где и завершается циркуляция воды в гидроударной электростанции. Производительность электронасоса должна обеспечить перекачивание за один период работы не менее 0,8 объёма воды, заполняющей питающую трубу 7. Для трубы диаметром 0,12 м и длиной 3 м производительность должна составлять не менее 60 м³/час при длительности периода работы электростанции T=1,5 с. Такой объём воды за час может перекачать электронасос с мощностью электродвигателя не менее 6 квт, что составляет всего 6% от полной электрической мощности, вырабатываемой гидроударной электростанцией. Поэтому для электропитания насоса не требуется внешних источников электроэнергии – оно осуществляется непосредственно от распределительного электрощита 18, расположенного на выходе гидрогенератора 17.

Гидрогенератор электростанции

Гидрогенератор (гидроагрегат) 17 электростанции должен работать при больших напорах и малых расходах воды. Этим условиям удовлетворяют гидроагрегаты с ковшовыми турбинами Пелтона или Турго. Гидроагрегаты производят в Великобритании, Чехии и России. Выбор агрегата осуществляется по специальным графикам производящих фирм, в которых указаны главные параметры: необходимая электрическая мощность и соответствующие ей напор и расход воды для турбины. Из-за высокой стоимости гидроагрегатов, ковшовые турбины небольшой мощности не редко изготавливают по имеющимся в интернете разработкам самостоятельно, а в качестве электрогенератора используют асинхронный электродвигатель соответствующей мощности.

Заключение

Проведенные исследования [1, 2, 3, 6] позволяют сделать выводы о преимуществах гидроударных электростанций по сравнению с плотинными гидроэлектростанциями и со

всеми иными электростанциями такой же мощности. К неоспоримым преимуществам относятся прежде всего отсутствие необходимости потребления энергии от внешних источников, низкие затраты на проектирование, изготовление и эксплуатацию. В качестве источника возобновляемой энергии используются силы инерции постоянного объёма циркулирующей воды. Малые габариты гидроударных электростанций позволяют использовать их непосредственно в месте потребления электроэнергии, поэтому исключаются потери при её транспортировке. Гидроударные электростанции не влияют на изменения окружающей среды. К существующим недостаткам следует отнести малый расход воды, используемой для вращения гидротурбины и, как следствие, сравнительно небольшие электрические мощности разработанных гидроударных электростанций (до 4 Мвт), а так же сложность регулирования работы клапанов. Однако, если увеличить диаметр питающей трубы 7 и использовать в качестве отбойного клапана 8 клапан осевого типа, который работает от изменения давления в трубопроводе большого диаметра при гидроударе (модель RZD-SR-R) [9], можно значительно повысить расход воды и выходную электрическую мощность гидроударной электростанции. Регулирование работы клапанов можно существенно упростить, повысив при этом выходную мощность электростанции, используя быстродействующие современные электромагнитные клапаны или клапаны с электроприводом, включение и отключение которых осуществляется по заданной программе.

Широкое внедрение гидроударных электростанций повышенной мощности позволит навсегда избавиться от использования дорогостоящих энергоносителей и сохранить в чистоте среду обитания человека.

Список используемой литературы

1. Патент UA 101445 F03B 13/12, опубл. 10.09.2015, бюл. № 17.
2. Патент UA 106602 F03B 13/12, опубл. 25.04.2016, бюл. № 8.
3. Патент UA 98216 F03B 13/12, опубл. 27.04.2015.
4. Долинский А.А., Иваницкий Г.К., Ободович А.Н. Использование механизмов ДИВЭ при роторно-пульсационной обработке гетерогенных сред. В ж. «Пром. теплотехника», 2008, т. 30, № 4, с. 5-13.
5. Патент UA 109190 F24D 17/00, F24H 1/00, опубл. 10.08.2016, бюл. № 15.
6. Нефедов Ю.И. О перспективах гидроударной энергетики. В ж. «Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит», 2015, № 12, с. 20-25.
7. Обратный клапан с противовесом фланцевый Ду 100 – Ду 1400. Паспорт. Техническое описание. (<http://lott.com.ua/cat/204/>).
8. CoorsTek Pulsation Stabilizers: Model Code Nomenclature. Amazing Solutions.
9. Клапан осевого типа для защиты от гидроудара. СП «Моквелд Маркетинг» - Украина. (E mokveld.marketing@mokveld.com).

References

1. Patent UA 101445 F03B 13/12, publ. 10.09.2015, bul. № 17.
2. Patent UA 106602 F03B 13/12, publ. 25.04.2016, bul. № 8.
3. Patent UA 98216 F03B 13/12, publ. 27.04.2015.
4. Dolinskiy A.A., Ivanitskiy G.K., Obodovich A.N. Use of the DPEI mechanisms for rotor-pulse processing of the heterogeneous agent. [Ispolzovanie mehanizmov DIVE pri rotor-no-pulsacionnoy obrabotke geterogennih sred]./ Industrial Heat Engineering, 2008, t. 30, № 4, p. 5-13.
5. Patent UA 109190 F24D 17/00, F24H 1/00, publ. 10.08.2016, bul. № 15
6. Nefedov J.I. On the Perspectives of Hydroblow Energetics [O perspektivah hidroudarnoy energetiki]. Energy saving · Power engineering · Energy audit, 2015, № 12. – Kh. - P. 20-25.
7. The Back Pressure Valve with Balance Flanged. [Obrotniy klapан s protivovesom flanceviy], Du 100 – Du 1400. Ticket. Technical Manual. (<http://lott.com.ua/cat/204/>).
8. CoorsTek Pulsation Stabilizers: Model Code Nomenclature. Amazing Solutions.
9. The Axial Valve for Defence from Hydraulic Blow. [Klapan ocevogo tipa dlia zaschiti ot giroudara], SP «Mokvald Marceting» - Ukraine. (mokveld.marketing@mokveld.com).

Прийнята до друку 27. 10. 2019 р.