

УДК 621.311.214

Электроэнергетическая установка в системе водоснабжения многоквартирного дома

© А.Г. Осипов¹, А.С. Зуев²Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Предлагается способ решения энергетической проблемы, основанный на принципе работы мини гидроэлектростанций. Разработана модель домовой электроэнергетической установки. Произведены расчеты, подтверждающие возможность работы разработанной электроэнергетической установки в системе водоснабжения многоквартирного дома. Предложено три варианта распределения полученной электроэнергии в зависимости от расхода воды. Отмечена целесообразность размещения электроэнергетической установки в системе водоснабжения многоквартирного дома.

Ключевые слова: домовая электроэнергетическая установка, система водоснабжения многоквартирного дома, эффективность работы, эксплуатационная надежность, целесообразность применения

Electric plant in the water system of an apartment house

© Arthur G. Osipov, Alexandr S. Zuyev

Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation

The article deals with a method to solve the energy problem. It is based on the working principle of mini hydroelectric. There are some calculations confirming the operation for electric power plant in an apartment building water supply system. It offers three options to distribute received electricity depending on different water consumption. It gives economic feasibility of using electric power plant in the water supply system in apartment houses.

Keywords: house electrical power plant, water system for an apartment building, work efficiency, operational reliability, economic feasibility

В настоящее время электроэнергия в современных многоквартирных домах является жизненно важной необходимостью. Ее потребление каждый день растет в геометрической прогрессии. Поэтому для удовлетворения растущей потребности в электричестве, и чтобы не строить новые дорогостоящие гидро- и теплоэлектростанции (ГЭС и ТЭС) [1] предлагаются различные альтернативные экологически чистые способы получения недорогой электроэнергии, основанные на использовании энергии солнца, ветра, а также воды, циркулирующей в системах водоснабжения и канализации многоквартирных жилых домов и промышленных объектов.

Одним из таких способов, характеризующихся наименьшими затратами, является использование альтернативных электроэнергетических установок в системе водоснабжения многоквартирных домов. Такие установки в некоторых случаях могут практически полностью обеспечить электроэнергией многоквартирный дом при незначительных первоначальных затратах.

Следует отметить, что для реализации этого способа не требуется разработка специального оборудования, при этом достаточно по характеристике потока подобрать соот-

¹ Осипов Артур Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и стандартизация в машиностроении», e-mail: arthur.osipov@rambler.ru

Arthur G. Osipov, Cand. Sci (Tech.), Associate Professor of Design and Standardization In Mechanical Engineering Department, e-mail: arthur.osipov@rambler.ru

² Зуев Александр Сергеевич, студент гр. ММб-16-1 Института авиационного машиностроения и транспорта, e-mail: nauka4879@gmail.com

Alexandr S. Zuyev, a student gr. ММб-16-1 Institute of Aircraft Construction, Mechanical Engineering and Transport, e-mail: nauka4879@gmail.com

ветствующую гидротурбину с электрогенератором, выпускаемую отечественной промышленностью.

Кроме выше отмеченного, все составные компоненты электроэнергетической установки отвечают требованиям соответствующих стандартов и технологичны в изготовлении, что делает их производство доступным по цене. Для монтажа домашней электроэнергетической установки не требуются специалисты высокой квалификации, так как все компоненты хорошо подходят друг к другу и надежны в эксплуатации.

На данный момент ограничено число готовых электроэнергетических установок, способных эффективно работать в системе водоснабжения многоквартирных домов. Поэтому основной целью настоящей работы является разработка эффективной, технологически простой и экономически выгодной домашней электроэнергетической установки и снижение расходов электроэнергии в многоквартирных домах и на прилегающих к ним территориях.

Анализируя возможные пути достижения поставленной цели, следует отметить, что в настоящее время существует несколько вариантов встраиваемых в трубы водоснабжения и канализации небольших электроэнергетических установок, способных вырабатывать электроэнергию за счет падающего потока отработанной воды. Например, устройство преобразования энергии отработанной воды в электрическую энергию, разработанное в Военной академии Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, защищенное патентом РФ № 2492352, а также устройство для получения электроэнергии от канализационных стоков, защищенное патентом РФ № 84474 U1 [2].

Однако вышеотмеченные электроэнергетические установки оправдывают свое предназначение только в высоких зданиях, число этажей в которых превышает 22 этажа. Кроме того, недостатками этих и других известных установок является низкий коэффициент полезного действия, поскольку лопасти их гидротурбин только частично перекрывают трубы стояков, наполнение сечений которых водой составляет на практике менее одной трети диаметра трубы. Следует также в качестве недостатков существующих устройств отметить, что использование энергии канализационных стоков усложняет конструкцию канализационных систем и значительно снижает их эксплуатационную надежность в связи с возможными засорами.

Не являются конкурентно способными и альтернативными другие устройства и способы получения дополнительной электроэнергии [1]. В частности, установка на крышах домов солнечных панелей, аккумулирующих энергию, является весьма дорогостоящим способом, зависящим от количества солнечных дней в г. Так цена одной солнечной панели размером 1640×992×35 мм превышает 12200 руб., а заявленный КПД при этом составляет не более 17%. К тому же требуются преобразователи энергии, необходима постоянная очистка панелей, а также другие виды обслуживания солнечной установки.

Не решают проблему получения дополнительной электроэнергии и ветрогенераторы, несмотря на то, что ветреная погода в России встречается довольно часто, и ветра в году достаточно. Следует учесть, что цена одного только ветрогенератора типа Ecmork составляет порядка 150 тыс. руб., даже без учета всей необходимой дополнительной аппаратуры [3]. Помимо этого сила ветра постоянно меняется, а так же бывают дни, в которых и вовсе нет ветровых потоков.

В качестве конкурирующих установок для получения дополнительной электроэнергии в многоквартирных домах можно также рассмотреть мини ГЭС с бесколлекторными индукционными гидротурбинами [4], представленные на рис. 1.

Достоинствами этих установок является удобство монтажа посредством обводной трубы, получение на выходе сразу переменного тока, небольшой вес, благодаря пластмассовому корпусу.

К недостаткам этих установок следует отнести ограниченную мощность, не превышающую 3600 Вт [4], необходимость изготовления отвода от основных водных коммуникаций и усложнение последних, нецелесообразность работы на горячей воде из-за попадания примесей из пластика и ускоренного разрушения всей установки.

Для решения обозначенной в работе проблемы на основании проведенного анализа существующих в настоящее время домашних электроэнергетических установок нами разработана и обоснована новая конструкция установки, позволяющей получать дополнительную электроэнергию для освещения подъездов и придомовой территории при потреблении жильцами дома воды.



1 2 3
 Рис. 1. Мини ГЭС с бесколлекторными индукционными гидротурбинами:
 1 – HV1200 с колесом Пельтона; 2 – HV1800 с колесом Пельтона;
 3 – HV3600 с колесом Турго

Следует отметить, что большинство российских городов с населением менее одного миллиона жителей, включая город Иркутск, застроены девяти и пяти этажными домами, имеющими самотечную (подпорную) систему водоснабжения [5], в которой вода под напором не циркулирует по трубопроводам, как в многоэтажных домах с этажностью более 16 этажей, а подается на все этажи самотеком за счет постоянного давления, то есть стоит на подпоре. Поэтому разработанная установка включается в работу и начинает вырабатывать дополнительную электрическую энергию при каждом использовании водопровода [6, 7].

Конструкция разработанной домашней электроэнергетической установки показана на рис. 2.

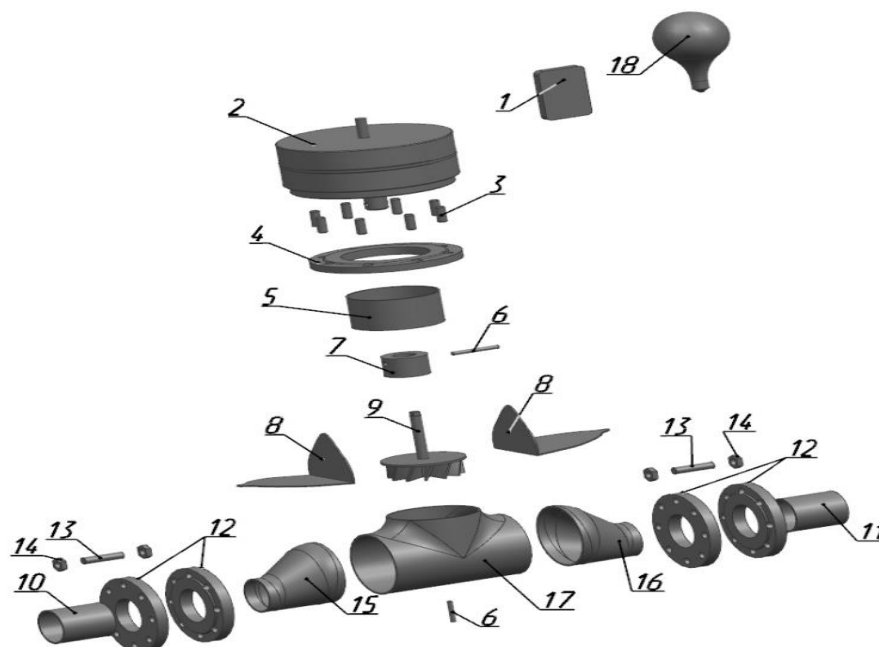


Рис. 2. Конструкция разработанной домашней электроэнергетической установки:
 1 – аккумулятор; 2 – электрогенератор; 3 – установочные штифты;
 4 – стальной фланец; 5 – стакан-патрубок; 6 – фиксирующие штифты;
 7 – переходная втулка; 8 – регуляторы напора воды; 9 – лопастной ротор;
 10 – трубопровод для входа воды; 11 – трубопровод для выхода воды;
 12 – фланцы; 13 – шпильки для соединения фланцев; 14 – гайки; 15 – входной переход эксцентрический; 16 – выходной переход эксцентрический;
 17 – тройник штампованный; 18 – потребитель энергии

Согласно рис. 2, разработанная конструкция содержит: аккумулятор 1 фирмы Tesla для накопления выработанной электроэнергии; электрогенератор 2 ВГБЖ-02(64)28,5-200-02 серии «ВИНДЭК» [3]; установочные штифты 3 (ГОСТ 2128-70) для крепления электрогенератора 2 на фланце 4 (ГОСТ 12820, сталь 09Г2С); стакан-патрубок 5 (ГОСТ 17378-2001, сталь 09Г2С); фиксирующие штифты 6 (ГОСТ 3128-70); переходную втулку 7 с фиксирующим штифтом 6; регуляторы напора воды 8 из стали 09Г2С толщиной 3 мм; ротор 9 диаметром 130 мм с рабочими лопатками; трубопровод 10 для входа воды; трубопровод 11 для выхода воды; фланцы 12 (ГОСТ 12820-80, сталь 09Г2С); шпильки 13 (ГОСТ 9066-76) для соединения входных и выходных фланцев установки с аналогичными фланцами трубопроводов 10 и 11; гайки 14 (ГОСТ 5915-70) для крепления фланцев; входной переход эксцентрический 15 (ГОСТ 17378-2001, сталь 09Г2С); выходной переход эксцентрический 16 (ГОСТ 17378-2001, сталь 09Г2С); тройник 17 штампованный (ГОСТ 17376-2001, сталь 09Г2С); потребитель 18 дополнительной электрической энергии. В домовую электроэнергетическую установку также входят стандартные распределители энергии по потребителям и преобразователи электрического тока.

Следует отметить, что лопастной ротор 9 гидротурбины, в отличие от остальных составных компонентов установки, выполнен из куниали «А», представляющей медно-никелевый сплав, характеризующийся высокими эксплуатационными показателями и коррозионной стойкостью.

Монтаж разработанной домовой электроэнергетической установки осуществляется в следующей последовательности. Вначале на горизонтальном участке магистрального трубопровода хозяйственно-питьевой водопроводной сети [5] вырезается отрезок трубы длиной 544 мм и к обоим свободным концам трубопровода привариваются фланцы 12, которые посредством шпилек 13 и гаек 14 соединяются в последствии с аналогичными фланцами, приваренными на входе и выходе воды из установки (рис. 3.)

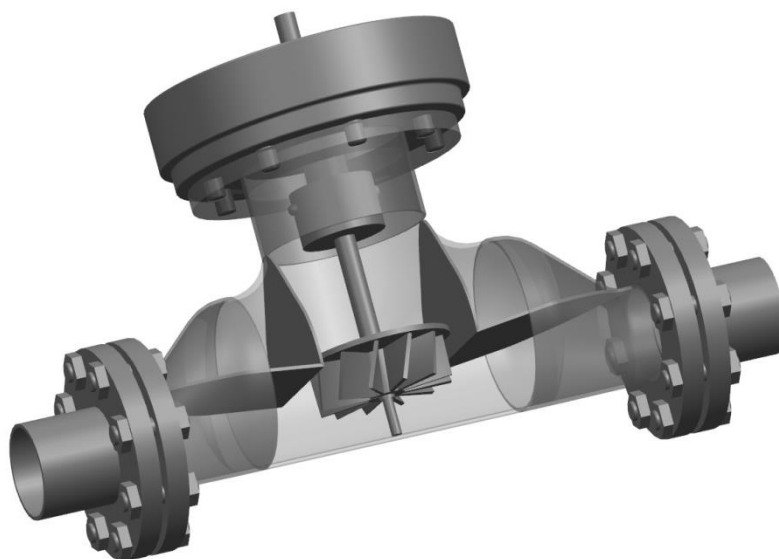


Рис. 3. Модель разработанной домовой электроэнергетической установки

Сборка турбогенератора установки начинается со сварки входного эксцентрического перехода 15 и выходного эксцентрического перехода 16 с фланцами 12. Входной эксцентрический переход 15 (диффузор) позволяет увеличить диаметр магистрального трубопровода с 89 мм до 159 мм и наиболее полно использовать напор, обеспечивая наибольшую эффективность установки. Затем в переходы 15 и 16 устанавливаются регуляторы напора воды 8, которые на входе в гидротурбину увеличивают давление и скорость потока почти в четыре раза, выполняя роль конфузора, сужающего поток, а на выходе из гидротурбины снижают напор, выполняя роль диффузора, постепенно расширяющего поток. Далее переходы 15 и 16 привариваются к тройнику 17, в верхнем патрубке которого сваркой фиксируется положение ранее установленных на входе и выходе регуляторов напора 8. Затем к стакану-патрубку 5 приваривается фланец 4 для установки с помощью штифтов 3 электрогенератора 2 [3]. Далее через верхний патрубок тройника 17 устанавливается лопастной ротор 9 гид-

ротурбины и центрируется штифтом 6. На вал ротора 9 надевается резиновый диск диаметром 135 мм, предотвращающий выплескивание воды вверх, и ротор гидротурбины посредством переходной втулки 7 и фиксирующего штифта 6 соединяется с электрогенератором 2. Затем стакан-патрубок 5 с приваренным к нему фланцем 4 соединяется неразъемно или на резьбе с верхним патрубком тройника 17. Далее на фланец 4 посредством штифтов 3 устанавливается электрогенератор 2 и проводами через распределители энергии и преобразователи тока соединяется с потребителями электроэнергии 18 и аккумулятором 1, который передает дополнительную электрическую энергию потребителям при неработающей установке.

Разработанная установка функционирует следующим образом: после открытия любого крана хозяйственно-питьевой водопроводной сети в магистральном трубопроводе дома под действием постоянного избыточного давления начинается расход воды и ее движение. При этом на входе установки в конфузоре давление и скорость водяного потока увеличивается, что способствует повышению напора воды, поступающей на лопажки ротора 9 гидротурбины, и увеличению частоты вращения вала ротора, соединенного с электрогенератором 2, вырабатывающем электроэнергию, поступающую потребителям 18 и аккумулятору 1.

После прохода воды через установку в диффузоре давление и скорость водяного потока снижается, и напор нормализуется, принимая практически свои первоначальные значения до входа в установку, тем самым не оказывая существенного влияния на работу выполненной по проекту хозяйственно-питьевой водопроводной сети дома.

К преимуществам разработанной домовой электроэнергетической установки следует отнести на порядок большую, по сравнению с аналогами, мощность при сопоставимых средних показателях расхода воды, производство по соответствующим государственным стандартам [8] большинства составных компонентов, за исключением регуляторов напора воды 8, возможность работы в широком диапазоне температур, хорошую коррозионную стойкость и защиту от кавитации лопастного ротора 9, а также относительно небольшие габариты и массу.

К недостаткам разработанной установки относится необходимость ее врезки в магистральный трубопровод хозяйственно-питьевой водопроводной сети дома и усложнение ее конструкции, некоторое снижение эксплуатационной надежности водопроводной сети, необходимость преобразования постоянного тока в переменный.

Результаты гидравлического расчета разработанной электроэнергетической установки [8, 9] сведены в табл. 1.

При определении коэффициента гидравлического трения (λ_T) использованы данные табл. 2.

Полученная в результате проведенного гидравлического расчета потеря напора $H = 0,13 \text{ м} + 0,12 \text{ м} = 0,25 \text{ м}$ в разработанной установке свидетельствует о том, что последняя не оказывает практически влияние на эксплуатационные параметры хозяйственно-питьевой водопроводной сети дома и может нормально функционировать, вырабатывая электроэнергию.

При разработке аналогичных домовых электроэнергетических установок могут быть использованы графические зависимости, приведенные на рис. 4. При этом необходимо учитывать группу потребителей воды.

К первой группе потребителей воды относятся жилые дома и офисы. В данной группе потребление воды не очень высоко и носит пикообразный характер, т.е. максимальный расход воды приходится на определенные часы суток. В жилых домах существует 3 пика расхода воды. Первый – утренний примерно с 7 до 10 ч утра, когда среднестатистический человек умывается, готовит завтрак и т.д. Второй – обеденный с 12 до 14 ч дня, когда люди возвращаются домой, чтобы перекусить. Здесь расход воды не столь велик, как у предыдущего пика, но его тоже необходимо брать во внимание. Третий – вечерний, когда люди приходят с работы, принимают ванну или душ, ужинают и т. п. Данный период времени характеризуется наибольшим расходом воды, поскольку, чтобы наполнить ванну, необходимо порядка 250 л; для душа требуется 200 л; приготовление еды требует более 3 л воды (все это для одного человека), но это еще не все нужды. Данный пик наиболее выражен в период времени с 20 ч до полуночи. В сезон отпусков потребление воды увеличивается, несмотря на то, что не все жители остаются в своих квартирах. В данной группе потребителей воды предусматривается накопление электрической энергии в течение всего дня.

Гидравлический расчет домовой установки

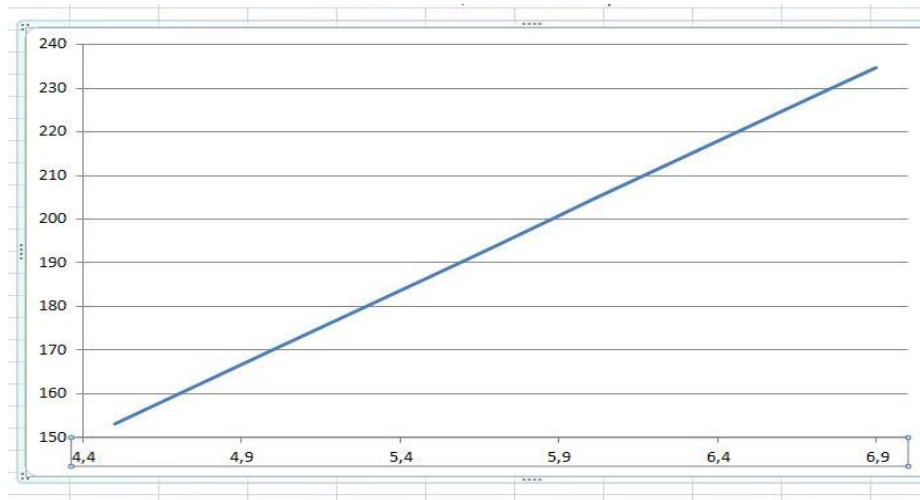
Формула	Формула расчета	Переменные	Полученное значение
Секундный расход воды	$Q = \rho \frac{\pi d^2}{4} U$	ρ – плотность (плотность воды 1000 кг/м ³) d – диаметр трубы (0,0615 м) u – скорость воды в трубопроводе (3 м/с по СНиП 2.04.01-85)	8,9 м ³ /с
КПД гидротурбины	$\text{КПД} = \left(Q g h + \frac{Q^3}{2\rho^2 S^2} \right)$	h – расстояние между трубой и турбиной по вертикали (0,0365 м) g – ускорение свободного падения (9,81 м/с ²) S – сечение трубы	43,4 %
Мощность гидротурбины (кВт)	$N_T = gQH \text{ КПД}$	H – напор турбины (4,5 м по СНиП 2.04.01-85)	171 кВт
Электрическая мощность домовой установки на выводах электрогенератора	$N_a = N_T \text{ КПД}_{\text{ген}}$	КПД _{ген} – КПД электро- генератора (90%)	154 кВт
Потери напора в домовой установке	$H = h_{\text{дифф}} + h_{\text{конф}}$	H – общая потеря напора в установке (м) $h_{\text{дифф}}$ – потеря напора в диффузоре (м) $h_{\text{конф}}$ – потеря напора в конфузоре (м)	0,25 м

Таблица 2

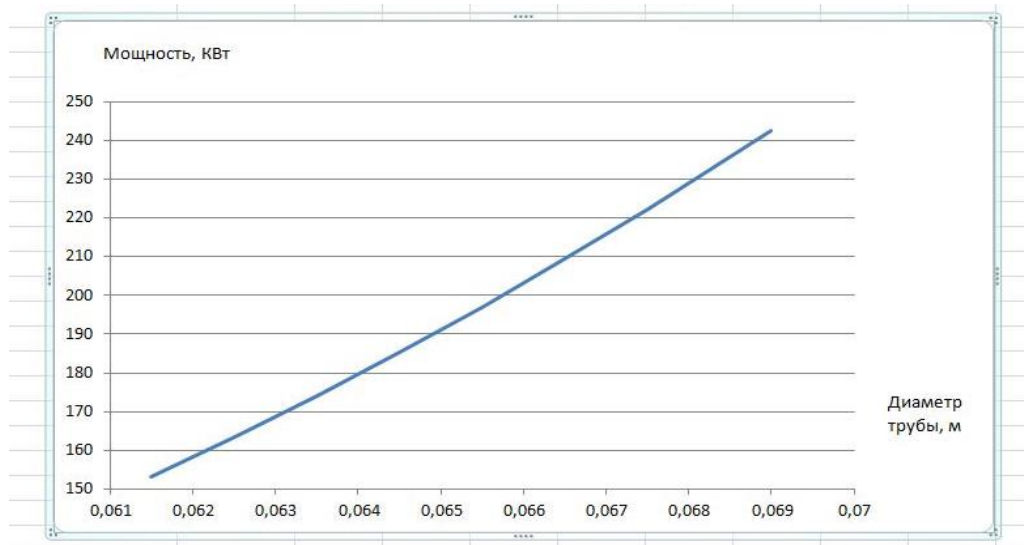
Определение коэффициента гидравлического трения

Режим движения	Число Рейнольдса	Определение λ
Ламинарный	$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$ или $\lambda = \frac{75}{Re}$
Переходный	$2300 < Re < 4000$	Проектирование трубопроводов не рекомендуется
Турбулентный	1-я область $4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_r = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (ф-ла Блазиуса) $\lambda_r = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}$ (ф-ла Конакова)
	2-я область $10 \frac{d}{\Delta_s} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_r = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля)
	3-я область $Re > 560 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_r = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля) $\frac{1}{\sqrt{\lambda_r}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_s}{3,71d} \right)$ (ф-ла Никурадзе)

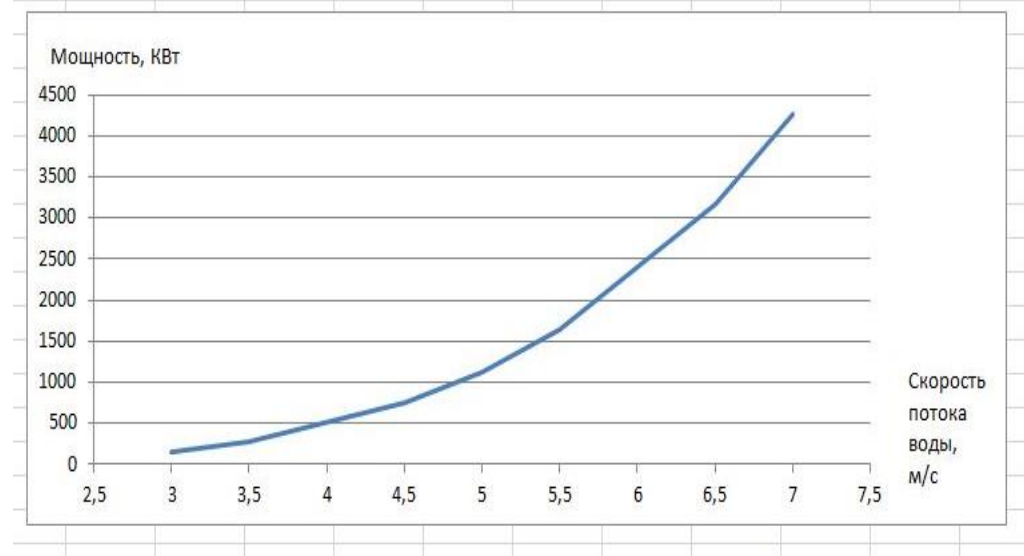
Ко второй группе потребителей воды относятся фонтаны и небольшие бассейны с повышенным потреблением воды.



а



б



в

Рис. 4. Зависимости мощности домашней электроэнергетической установки от эксплуатационных факторов: а – напора воды; б – диаметра водопроводной трубы; в – скорости потока воды

Электроэнергетические установки второй группы потребителей воды способны помимо обеспечения электричеством приборов освещения, видеонаблюдения и накопления электроэнергии, осуществлять иные энергозатратные процессы, например, питание Wi-Fi роутера, проигрывание радио и даже заряд мобильных устройств.

К третьей группе потребителей воды относятся объекты с большим потреблением воды, например, предприятия, нуждающиеся в постоянном расходе воды, большие бассейны и аквапарки. Электроэнергетические установки на таких объектах способны вырабатывать достаточное количество электрической энергии, чтобы передавать ее в городскую электросеть, где она уже будет распределена по назначению.

Проведенные экономические расчеты позволяют констатировать, что стоимость одной разработанной домовой электроэнергетической установки, обслуживающей подъезд, составляет порядка 230 000 руб. При этом наиболее дорогим компонентом установки является аккумулятор 1, стоимость которого в настоящее время равняется 213 тыс. руб.

Цена электрогенератора 2 [3] составляет порядка 7–8 тыс. руб., а на остальные компоненты установки приходится от 8 до 10 тыс. руб.

Общая себестоимость системы из пяти домовых электроэнергетических установок, из расчета по одной установке на подъезд, составляет 1 150 000 руб. Производительность одной разработанной установки, при учете ее расчетной загруженности (давление, скорость потока) в течении 7 ч в системе 5-этажного многоквартирного дома (так как расход максимален в пиковые моменты дня, а не 24 ч), составляет 1078 кВт/ч в сут, а производительности всех пяти установок – 5390 кВт/ч в сутки. При тарифе электроэнергии 1,01 руб. за один кВт/ч стоимость дополнительной электроэнергии, выработанной системой из пяти разработанных установок за один день, составит 5929 руб. [9].

Таким образом, разработанная установка окупится и начнет приносить прибыль уже через 194 дня при расчетном режиме работы, т.е. практически за шесть месяцев. Это позволяет заключить о целесообразности ее практического применения в многоквартирных жилых домах.

Библиографический список

1. Гидроэлектростанция [Электронный ресурс] // Интернет ресурс «Свободная энциклопедия». URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (06.11.2018).
2. Пат. № 2492352, РФ, МПК F03B 13/12. Устройство преобразования энергии отработанной воды в электрическую энергию / В.В. Гончаров, А.Е. Пономаренко, С.Н. Куканков, С.С. Куканков. 10.09.2013 г.
3. Электрогенераторы ВИНДЭК для ветряков и микро ГЭС [Электронный ресурс] // Интернет ресурс «Малая энергетика». URL: http://www.rosinmn.ru/ELEKTRO_alternator_windec.htm (06.11.2018).
4. Мини-ГЭС-малые гидротурбины [Электронный ресурс] // Новая генерация. URL: https://manbw.ru/analitics/mini-GES_hydro-turbine_hydroelectric-power-plant.html (02.12.2018).
5. Макотрина Л.В. Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики: учеб. пособие. 2-е изд., доп. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. 178 с.
6. Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике. М.: Наука, 1984. 596 с.
7. Бутиков Е.И., Быков А.А. Физика в примерах и задачах. М.: Наука, 1979. 464 с.
8. СНиП II-3-79* Система нормативных документов в строительстве [Электронный ресурс] // Энциклопедия сантехника. URL: <http://infobos.ru/> (06.11.2018).
9. Расчет гидравлического сопротивления в системе отопления. [Электронный ресурс] // Энциклопедия сантехника. URL: <http://infobos.ru/> (06.11.2018).