

ПРИМЕНЕНИЕ СТАРЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НОВОЙ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Молочный Д.А.

г. Королев, МБОУ «Гимназия № 5», 8 класс

Руководитель: Лебедева О.И., г. Королев,

МБУ ДО УМОЦ, учитель-логопед

Мощность спокойного моря с высотой волн до 1 метра оценивается величиной 15 кВт на погонный метр длины, а при более высоких волнах, до 3-4 м, эта величина составляет до 80 кВт/м. Так как протяженность береговой линии у России составляет 40000 км, то энергетическая мощность морей со спокойным волнением составит 600 ГВт. **Задача сводится к преобразованию качательного движения поплавка на морских волнах во вращательное движение маховика или сразу ротора электрического генератора.** Полтора века назад русский ученый П.Л. Чебышев предложил механизм, о котором теперь пора вспомнить. В работе доказано, что поплавок объемом 1 кубометр на таком механизме может выдавать до 1 кВт мощности. Предлагаемый преобразователь не имеет мертвых точек. Перспективное направление работы связано с созданием батареи волновых генераторов вдоль берега. Положительный эффект заключается в уменьшении волновой нагрузки на прибрежные жилые районы и в автономном применении. Видеоролик (<https://youtu.be/Jf0xOFTqYk>).

Морские волны обладают энергией, превосходящей энергию тепловых электростанций. Энергетическая мощность спокойного моря с высотой волн до 1 метра оценивается величиной 15 кВт на погонный метр длины, а при более высоких волнах, до 3-4 м, эта величина составляет до 80 кВт/м. Так как протяженность береговой линии у России составляет 40000 км, то энергетическая мощность морей со спокойным волнением составит 600 ГВт. Даже если исключить ледовый покров северных районов протяженностью 20000 км, то все равно мощность 300 ГВт почти в 40 раз превосходит мощность самой большой атомной электростанции Касивадзаки-Карива в Японии. И это почти при штиле! **Цель работы заключается в использовании энергии морских волн для социальных, а в будущем и для промышленных целей. В работе решается техническая задача по созданию устройства, способного преобразовывать энергию моря в электричество. С технической точки зрения задача сводится к преобразованию качательного движения**

поплавка на морских волнах во вращательное движение маховика или сразу ротора электрического генератора. Такая задача была актуальна два века назад при внедрении в промышленность паровых машин. В настоящее время эта задача стала актуальной в области «зеленой» энергетики без каких-либо выбросов продуктов сгорания топлива.

Полтора века назад русский инженер и ученый П.Л. Чебышев изучал различные механизмы, в том числе для преобразования качательного движения во вращательное. Следовательно, первый метод исследования свелся к анализу литературы. В Музее Санкт-Петербургского университета есть незаслуженно забытый механизм-экспонат «Велосипед» как раз для этой цели. Второй метод исследования – сборка действующего макета. Третий метод – расчеты на натурном эксперименте.

Сначала была проведена оценка энергии волн по имеющимся данным для Балтийского моря. Мощность 15-80 кВт/м достаточна не только для бытовых, но и для промышленных целей. Затем был проведен исторический анализ и выяснено назначение механизма П.Л. Чебышева, хорошо согласующееся с преобразователем энергии морских волн. Для доказательства правильности гипотез был собран действующий макет с исправлением ошибки в издании Академии наук СССР. Наконец, результаты расчетов привели к удельной мощности макета 1 кВт на кубометр поплавка.

Доказано, что поплавок объемом 1 кубометр почти при штиле может выдавать до 1 кВт мощности. Предлагаемый преобразователь не имеет мертвых точек, но должен настраиваться под изменяющуюся длину морских волн. Перспективное направление дальнейшей работы связано с созданием батареи волновых генераторов вдоль береговой линии. Положительный эффект заключается в уменьшении волновой нагрузки на прибрежные жилые районы и в автономном применении.

Введение

Идея работы появилась после ознакомления с метеорологическими данными

для Балтийского моря. Этот район очень хорошо отслеживается множеством метеостанций, в том числе космическими метеорологическими космическими аппаратами типа «Метеор». В Балтийском море очень сильно развито судоходство, причем не только грузовое, но и пассажирское. Вопросы безопасности пассажиров требуют как можно точнее предсказывать погоду и волнение моря. Данные о погоде в Балтийском море настолько важны, что создан специальный сайт, на котором можно посмотреть не только историю погоды в Прибалтике, но и получить прогнозы (http://cammeteo.ru/wave_sea). Для примера на Рис. 1 показаны две погодные карты в области Балтийского моря.

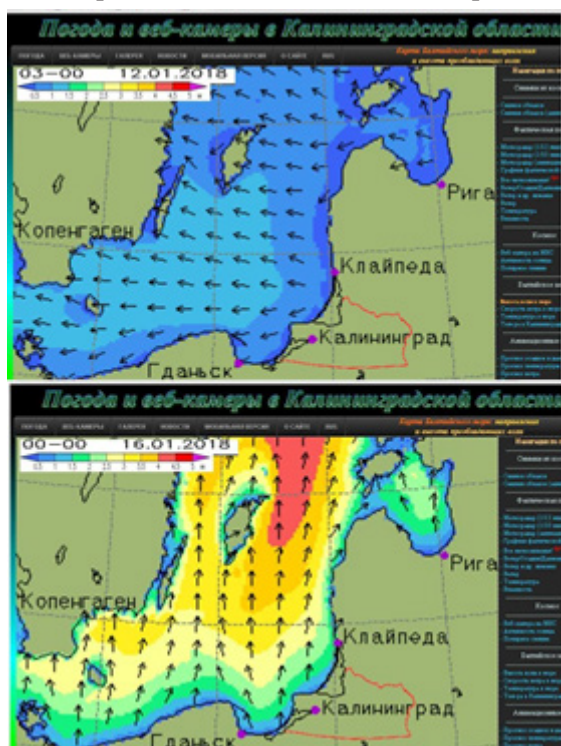


Рис. 1. Две карты Балтийского моря с высотой волн (светлая – высокая)

На этих картах чем светлее цвет, тем выше волна. На левой карте преобладают волны с высотой 1-1,5 м, а на правой высота волн доходит до четырех метров. Левая карта соответствует спокойной погоде в Прибалтике, тогда как правая характеризует штормовую погоду.

Эти две карты погоды в области Балтийского моря приведены с одной целью – показать, что морские и океанские волны обладают большой энергией, которую пока, увы, люди никак не используют. Энергия морских волн – это экологически чистый вид энергии, или, как говорят, «зеленая» энергия. При получении энергии морских волн нет никаких выбросов продуктов сто-

рания, как у тепловых станций. Единственное последствие, которое можно ожидать при широкомасштабном использовании энергии морских волн, связано с уменьшением волнения моря по закону сохранения энергии. Уменьшение штормовой нагрузки является благоприятным фактором для судоходства.

Основное направление выбранной научной темы связано с техническими вопросами преобразования энергии морских волн в полезную для человека энергию, прежде всего, в электрическую.

Средняя мощность волн морей и океанов превышает 15 кВт/м, то есть один погонный метр длины вдоль направления движения волн обладает энергией самой мощной горелки кухонной газовой плиты. При высоте волн в 2 м мощность достигает 80 кВт/м. Это означает, что в океанах и морях только на поверхности энергии предостаточно для решения многих промышленных и социальных задач. В механическую и электрическую энергию можно использовать только часть мощности волн, но для воды коэффициент преобразования выше, чем для воздуха – до 85 %. В этой работе основное внимание уделено новому способу преобразования энергии волны в механическую энергию маховика электрического генератора.

В Полном собрании сочинений П.Л. Чебышева одним из самых загадочных механизмов считается механизм № 13 по фотоснимку из архива русского инженера, ученого, изобретателя, профессора Санкт-Петербургского университета. Кратко этот механизм называется «Велосипед» [1,2,3]. Загадка этого механизма заключается как в исторической, так и в технической области. Историческое направление исследования в школьной научной работе, заявленной на Первые Всероссийские Музруковские чтения в городе Сарове Нижегородской области 15 февраля 2017 года. В этой работе основное внимание уделено научно-технической области изобретения русского инженера и применению для «зеленой» энергетики, то есть использованию в качестве альтернативного источника энергии.

Практически доказанным является факт истории техники о несоответствии названия механизма его прямому назначению. П.Л. Чебышев не изобретал велосипед, а скорее, создал механизм для преобразования качательного движения во вращательное. В 19-ом веке в производство и транспорт внедрялись паровые машины, поэтому такие механизмы были очень нужны, а об экологии и «зеленой» энергетике полтора века назад никто даже не слышал. Однако есть заметка

в переписке русского инженера о возможности применить механизм «Велосипед» в инвалидной коляске, хотя для самокатного кресла П.Л. Чебышев создал и испытал другой механизм. История сложилась так, что механизм «Велосипед» был надолго забыт, демонстрировался как экспонат в Музее Санкт-Петербургского университета и одновременно стал темой для создания и многократного, законного и незаконного, перекопирования видеоролика [4].

Интерес к механизму «Велосипед» П.Л. Чебышева у меня появился по нескольким причинам.

Во-первых, этот механизм не имеет мертвых точек, как например традиционные кривошипно-шатунный механизм с двумя спаренными кривошипами, работающими в противофазах, не говоря о механизме с одним кривошипом. Под мертвой точкой понимается положение механизма, при котором даже большие усилия, прилагаемые к ведущему кривошипу внешними силами и моментами не в состоянии повернуть ведущий вал. На Рис. 2 схематично показано явление возникновения мертвых точек у механизма с одним, двумя или несколькими ведущими кривошипами, которые установлены напротив друг друга, то есть работают в противофазе. В каком бы вертикальном направлении не прикладывались силы к кривошипам в этих мертвых точках, крутящий момент не возникает, потому что нет плеча силы.

Мёртвые точки кривошипов

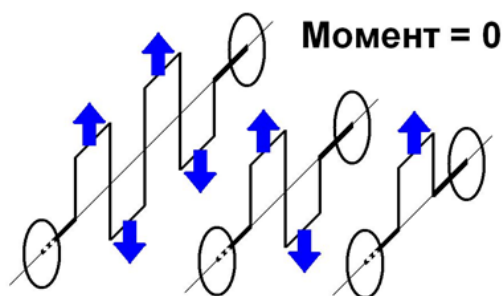


Рис. 2. Схема появления мертвых точек в механизмах

В механизме с одним кривошипом может появиться как неустойчивая, так и устойчивая мертвая точка. В механизме с двумя и большим количеством противофазных кривошипов появляется, как правило, неустойчивая мертвая точка. Под устойчивостью мертвой точки понимается сохранение больших усилий поворота ведущего вала кривошипа при небольших отклонениях от заданного нежелательного положения. Одна из решаемых задач в новой энергетике

заключается в применении механизмов без мертвых точек, способных без посторонних вмешательств начинать вращение для получения и преобразования энергии.

Анализ литературы

Прежде чем обосновать актуальность изобретения П.Л. Чебышева для современности, я изготовил действующую модель знаменитого исторического механизма, используя только проверенные достоверные источники информации [1,2,3]. Сайт «Механизмы П.Л. Чебышева» [3] имеет иллюстративное направление, но на этом сайте содержатся очень важные ссылки на первоисточники [1,2]. Изучив описание механизма в обоих изданиях Полного собрания сочинений П.Л. Чебышева, я обнаружил ошибку в размере одного рычага в издании 1945 года [1], которая была исправлена И.И.Артоболовским и Н.И.Левитским в издании 1948 года. С этой ошибкой в размере рычага механизм нельзя было собрать, потому что длина двух сторон треугольника получалась меньше третьей стороны. На Рис. 3. показаны страницы двух изданий научных трудов П.Л. Чебышева с замеченной мною ошибкой в издании 1945 года.

Исправлена ошибка в первом издании Полного собрания сочинений П.Л.Чебышева

Изд. 1945 г. $AB = BC = BM = 1$; Сначала $AC' = r = 0,55$; $CC' = d = 1,38$; Механизм не собрать $\omega = 267^\circ$; Две стороны треугольника меньше третьей $MK = KF = 1,4$; $C'F = 1,23$; $FC = 1,77$. Издательская правка	Опыт: сборка механизма в кружке «Юный физик – умелые руки»
Изд. 1948 г. $AB = BC = BM = 1$; Потом $AC' = 0,55$; $CC' = 1,38$; $\omega = 267^\circ$; $MK = KF = 1,84$; $C'F = 1,23$; $FC = 1,77$.	

Вывод: практика и опыт исправили ошибку

Рис. 3. Исправление ошибки в издании 1945 года трудов П.Л. Чебышева

После исправления ошибки был собран сначала черновой вариант механизма «Велосипед», проверена его работоспособность, а затем было начато практическое исследование возможностей этого устройства [5].

Анализ механизма «Велосипед» П.Л. Чебышева

Механизм «Велосипед» – это плоский пятизвенный шарнирно-рычажный механизм, шестое неподвижное звено – корпус. Механизм состоит из ведущего коромысла, шатуна, сложного треугольного шатуна, промежуточного коромысла и ведомого шатуна. Пять рычагов и семь цилиндрических шар-

ниров обеспечивают механизму одну степень свободы по формуле П.Л. Чебышева. Кинематическая схема механизма «Велосипед» П.Л. Чебышева показаны на Рис. 4.

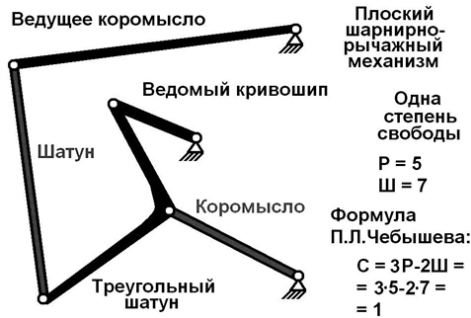


Рис. 4. Кинематическая схема механизма «Велосипед» П.Л. Чебышева

Колесо или наждачный круг для заточки режущего инструмента крепятся неподвижно относительно ведомого вала с двумя кривошипами на концах, работающих в противофазах двух спаренных механизмов «Велосипед». Соединение двух механизмов происходит только общим ведомым валом двух ведомых кривошипов, поэтому одна степень свободы в спаренном механизме сохраняется.

После выявления правильной кинематической и механической схемы механизм был собран из дюралюминиевых прямоугольных профилей с шарнирными соединениями из шайб, винтов и гаек М8. Общий вид собранного механизма показан на Рис. 5.



Рис. 5. Общий вид собранного механизма

Принцип действия волнового генератора

Действие волнового генератора для преобразования энергии морских волн в электричество основано на принципе волнового явления. Волна – это перенос энергии без переноса вещества. Следовательно, морские волны обладают энергией, переносят ее, но не переносят громадные массы воды, как реки. Научно-техническая задача заключается в получении этой энергии и ее преобразовании в электричество.

Большие массы воды в морских волнах совершают колебательные движения вверх и вниз, поэтому периодически изменяется уровень воды, причем с небольшой частотой и большим периодом, в единицы секунд. Вода с изменяющимся уровнем способна поднимать и опускать поплавков. Поплавков должен обладать двумя свойствами.

Во-первых, поплавков должен быть относительно тяжелым, чтобы достаточно быстро самостоятельно опуститься после прохождения через него гребня волны во впадину за счет собственной силы тяжести, потому что в это время сила Архимеда перестанет на него действовать.

Во-вторых, поплавков должен быть плавающим, то есть сила Архимеда должна существенно превосходить силу тяжести. Такой поплавков быстро поднимется на гребень подошедшей к нему волны.

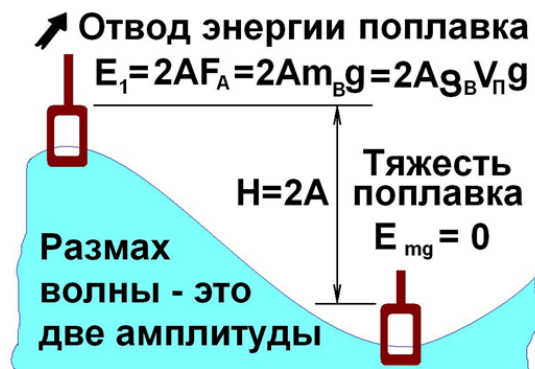


Рис. 6. Схема движения поплавка

Схема движения поплавка показана на Рис. 6. Для большей иллюстративности на этом рисунке показаны два рядом расположенные поплавка, разнесенные на расстояние, равное полудлине морской волны. Это расстояние в реальном генераторе можно сделать регулируемым, чтобы подстраиваться под различные длины волн. Однако

вполне можно упростить схему генератора, если настроить его на фиксированную длину морской волны, наиболее характерную для заданного побережья.

При вертикальном возвратно-поступательном движении поплавок вверх на гребень набегающей волны и вниз во впадину происходит взаимное преобразование двух видов энергии. Амплитуда волны обозначена символом A , поэтому размах волны равен двум амплитудам, то есть $2A$.

1. Во-первых, работу совершает сила тяжести поплавок. Однако за один цикл движения поплавок работа силы тяжести равна нулю. Это становится ясно, если изучить два участка движения тяжелого поплавка на волне.

При подъеме поплавок из впадины на гребень волны сила тяжести совершает отрицательную работу, потому что вектор силы направлен вниз, а перемещение поплавок направлено вверх.

$$A_{mg\text{вверх}} = -mg \times 2A$$

На этом участке волна совершает положительную работу, потому что преодолевает силу тяжести. Рабочей силой в волне является сила Архимеда, которая должна превосходить силу тяжести поплавок, чтобы он всплывал. Но работу силы Архимеда лучше рассмотреть отдельно.

При опускании тяжелого поплавка с волны во впадину глубиной $2A$ сила тяжести совершает положительную работу, потому что вектор силы направлен вниз и перемещение тоже направлено вниз.

$$A_{mg\text{вниз}} = +mg \times 2A$$

На этом участке тяжелый поплавок отдает генератору запасенную при подъеме потенциальную энергию. Сила Архимеда на этом участке не учитывается, предполагается, что тяжелый поплавок мгновенно проваливается с гребня волны во впадину глубиной $2A$. Работа силы Архимеда будет изучена отдельно.

Общая работа силы тяжести поплавок получается нулевой.

$$A_{mg} = A_{mg\text{вверх}} + A_{mg\text{вниз}} = -mg \times 2A + mg \times 2A = 0$$

Так как работа силы тяжести равна нулю, то ее можно не рассматривать. Сила тяжести нужна для того, чтобы тяжелый поплавок быстро упал во впадину волны, когда гребень волны пройдет под ним, поднимет его наверх, отдаст свою энергию генератору и подготовится к следующему циклу работы.

2. Во-вторых, работу совершает сила Архимеда. Сила Архимеда направлена вертикально вверх, поэтому ее работа будет положительной, когда перемещение поплавок тоже направлено вверх. Это может быть только при всплывании поплавок из впадины волны на гребень, когда тот подойдет к поплавку. Работа силы Архимеда отличается от работы силы тяжести не только формулой, но и действием на цикле движения поплавок. Обозначим массу воды, вытесненную поплавкой символами

$$m_{\text{выт}} = \rho_{\text{воды}} V_{\text{полл}}$$

Тогда сила Архимеда равна

$$A_{\text{Арх}} = m_{\text{выт}} g = \rho_{\text{воды}} V_{\text{полл}} g$$

При всплытии поплавок из впадины на гребень волны работа силы Архимеда положительна, то есть морская волна совершает работу и отдает энергию генератору. Можно предполагать, что поплавок просто всплывает на поверхность воды с глубины $2A$ и вычислить работу силы Архимеда.

$$A_{\text{Арх.вверх}} = +m_{\text{выт}} g \times 2A = +\rho_{\text{воды}} V_{\text{полл}} g \times 2A$$

При опускании поплавок с гребня волны во впадину его движение происходит уже не в воде, а в воздухе, потому что гребень волны прошел. Можно предполагать, что поплавок падает с высоты $2A$ без действия на него силы Архимеда. Но тогда работа силы Архимеда равна нулю.

$$A_{\text{Арх.вниз}} = 0_{\text{выт}} \times 2A = 0$$

Общая работа силы Архимеда за один цикл будет положительной.

$$A_{\text{Арх}} = A_{\text{Арх.вверх}} + A_{\text{Арх.вниз}} = +m_{\text{выт}} g \times 2A + 0 = +\rho_{\text{воды}} V_{\text{полл}} g \times 2A$$

Общая работа тяжелого поплавка за один цикл прохождения гребня волны и ее впадины будет положительной.

$$A_{\text{1цикл}} = A_{\text{Арх}} + A_{mg} = m_{\text{выт}} g \times 2A + 0 = +\rho_{\text{воды}} V_{\text{полл}} g \times 2A$$

Эту энергию получит генератор от одной морской волны для дальнейшего преобразования в электричество.

Пример расчета мощности волнового генератора

На Рис. 7 показан пример расчета мощности одиночной волны, которая может быть передана волновому генератору без учета потерь.

$$\begin{aligned}
 A &= 0,5 \text{ м} \\
 \rho_{\text{в}} &= 1000 \text{ кг/м}^3 \\
 V_{\text{п}} &= 1 \text{ м}^3 \\
 g &= 10 \text{ м/с}^2 \\
 v &= 1 \text{ м/с} \\
 \lambda &= 10 \text{ м}
 \end{aligned}$$

Мощность одного поплавок

$$N_1 = \frac{2A\rho_{\text{в}}V_{\text{п}}gv}{\lambda}$$

$$N_1 = 1000 \text{ Вт}$$

Рис. 7. Схема расчета

При расчете были приняты следующие исходные данные.

Амплитуда волны $A = 0,5$ м.

Размах амплитуды волны $2A = 1$ м.

Плотность воды $\rho_{\text{воды}} = 1000$ кг/м³.

Объем поплавок $V_{\text{поплавок}} = 1$ м³.

Скорость движения волны $V_{\text{волны}} = v = 1$ м/с.

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Длина волны $\lambda = 10$ м.

При таких исходных данных мощность одиночной волны при совершении работы силой Архимеда определяется следующим образом.

$$N_1 = \frac{\rho_{\text{воды}} V_{\text{попл}} g \times 2A}{t}$$

В этой формуле t – время прохождения волной поплавок, то есть период, или время прохождения полуволны поплавок, то есть полупериод с последующим холостым ходом полупериода, когда сила Архимеда не совершает работу. Это время выражается из определения длины волны.

$$\lambda = vt;$$

$$t = \frac{\lambda}{v}.$$

Подставляем время t в формулу для мощности

$$N_1 = \frac{\rho_{\text{воды}} V_{\text{попл}} g \times 2A v}{\lambda}.$$

Подставляем в расчетную формулу исходные данные.

$$N_1 = \frac{1000 \times 1 \times 10 \times 2 \times 0,5 \times 1}{10} = 1000 \text{ Вт} = 1 \text{ кВт}$$

Вывод

Поплавок объемом 1 м³ способен выдать мощность до 1 кВт. Даже при к.п.д. 10% потребитель получить электрическую мощность 100 Вт, достаточную для электрической лампочки, а главное, для зарядки

аккумуляторной батареи, которая необходима на период безволнового моря.

Новое применение механизма «Велосипед» П.Л. Чебышева

Именно два механизма, соединенные воедино для работы в противофазе, сделали изобретение П.Л. Чебышева актуальным для современности. Такое соединение позволяет превратить энергию морских волн в энергию вращения маховика, а затем в электричество. Два механизма в паре надо разнести на расстоянии полуволны, тогда они будут работать в противофазе, обеспечат качание ведущих коромысел тоже в противофазе, а ведомые кривошипы будут вращать маховик. У механизма «Велосипед» П.Л. Чебышева нет мертвых точек, поэтому в любом положении ведущего коромысла будет возникать крутящий момент, который получается от силы Архимеда поплавок. Маховик может быть сразу ротором генератора, а может быть валом для соединения с генератором. Можно создать батарею «Велосипедов» П.Л. Чебышева, удаляющуюся от берега, для увеличения мощности новой альтернативной электростанции «зеленой энергетики». На Рис. 8 показана схема батареи волновых генераторов.

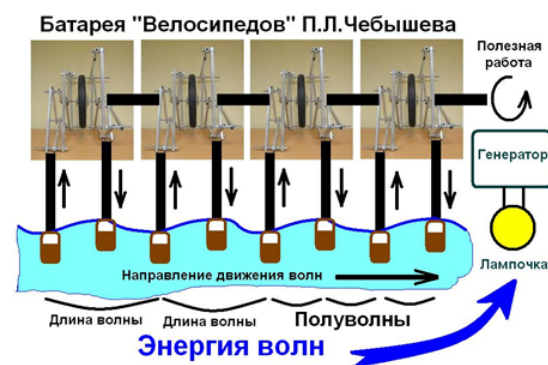


Рис. 8. Схема преобразователя энергии морских волн

Таким образом, историческое исследование доказало возможность найти новое актуальное применение известному механизму П.Л. Чебышева. Созданная модель доказывает работоспособность предлагаемого устройства.

Заключение

На основе выполненных исследований известных технологий преобразования качательного движения во вращательное сделаны следующие выводы, актуальные для новой альтернативной возобновляемой энергетики.

1. Исторический анализ забытого механизма «Велосипед» П.Л. Чебышева позволил

найти новое применение изобретению русского инженера, предложенному в 19 веке.

2. При создании волновых генераторов перспективным направлением является изучение способов преобразования качательного движения ведущих частей (поплавков) во вращательное движение маховика, например, электрического генератора. Именно такое назначение имеет механизм «Велосипед» П.Л. Чебышева. Изготовлен действующий макет механизма.

3. Обоснована реальная возможность получить мощность 1 кВт при объеме поплавок волнового генератора 1 м³, что хорошо, и даже с большим запасом, согласуется с общепринятыми средними значениями 15 кВт/м погонной энергии морских волн при легком, не штормовом волнении. Даже при КПД 10% до потребителя дойдет полезная мощность 100 Вт, достаточная для зарядки аккумуляторов.

4. Для увеличения мощности волновой электростанции надо использовать батарею волновых генераторов. Например, при длине или ширине волновой электростанции 1 км мощность составит не менее 1000 кВт=1МВт с передачей потребителю не менее 100 кВт даже при общем к.п.д. установки 10%. Этого достаточно для электропитания шести квартир с современным

нормативным потреблением 16 кВт. При устаревших нормативах энергопотребления 3 кВт на одну квартиру можно обеспечить энергией более 30 квартир, то есть небольшой поселок, полностью отрезанный от линий электропередач.

5. Совершенствование волнового генератора возможно созданием способов его подстройки, в том числе автоматической, под реальную длину морской волны в конкретный период.

Список литературы

1. Артоболевский И.И., Левитский Н.И. Механизмы П.Л. Чебышева [Электронный ресурс] / Научное наследие П.Л. Чебышева. – Вып. II. – Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – С.34-35. – Режим доступа: www.tcheb.ru/9.
2. Артоболевский И.И., Левитский Н.И. Механизмы П.Л. Чебышева [Электронный ресурс] / Научное наследие П.Л. Чебышева. – Вып. II. – Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – С. 219-220. – Режим доступа: www.tcheb.ru/9.
3. Чебышев П.Л. Механизм «Велосипед» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tcheb.ru/9.
4. [Электронный ресурс] «Велосипед» П.Л. Чебышева. – Режим доступа: <http://www.tcheb.ru/9> (оригинал видеоролика); <https://youtu.be/g0o4FH-zFcQ> (копия видеоролика); <https://youtu.be/Нахо0o58STk> (копия видеоролика); <http://newsvideo.su/education/video/48957> (копия видеоролика).
5. Молочный Д.А. Велосипед П.Л. Чебышева для новой энергетики. [Электронный ресурс]. – Декабрь, 2017. – Режим доступа: <https://youtu.be/Jf0xOFTrqYk>.