

УДК 532.5+536.423.18

Б. А. ТРОШЕНЬКИН, д-р техн. наук, с.н.с.; проф. ИПМаш, Харьков;
В. Б. ТРОШЕНЬКИН, канд. техн. наук, с.н.с; с.н.с. ИПМаш, Харьков

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПАРОВЫХ ТУРБИН ПРИ ОСВОЕНИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ВОД

Рассмотрены недостатки электростанций использующих разность температур воды в океане. Предложена энергетическая установка с гидропаровой турбиной, устраняющая эти недостатки. Дан анализ термодинамических циклов с гидропаровой и паровой турбинами. Показано, что предлагаемая энергоустановка в 2,4 раза эффективнее известной установки Клода-Бушера. Для снижения сопротивления трубопроводов течению теплой и холодной воды предложено добавлять в потоки полимеры, получаемые на основе газов, выделяющихся под вакуумом из морской воды. Показана целесообразность применения гидропаровых турбин при использовании низкопотенциального тепла конденсационных электростанций.

Ключевые слова: энергоустановка, гидропаровая турбина, КПД, растворимые полимеры.

Введение

Ранее построенные электростанции, использующие перепад температур верхних и нижних слоев воды в океане, обладают рядом весьма существенных недостатков. Так, например, применение цикла с получением пара за счет вскипания теплой воды в условиях вакуума (установка Клода, Виргинская станция и сконструированная, но не построенная Абиджанская станция) является наименее благоприятным из-за малого количества полезно используемого тепла. Кроме того, высокая металлоемкость, значительные габариты влажнопаровых турбин и их небольшая единичная мощность требуют существенных капитальных затрат, что еще больше ограничивает практическую реализацию этой проблемы [1–3].

Электростанции с низкокипящими рабочими телами (аммиак, фреон, бутан, пропан, углекислота и т. д.) позволяют увеличить удельную выработку электроэнергии, сократить габариты и стоимость турбин.

Однако и эти установки имеют ряд недостатков, основными из которых является наличие громоздкой теплообменной аппаратуры (нагреватели и конденсаторы) и необратимые потери в ней тепла, особенно ощутимые при малых температурных перепадах между теплой и холодной водой.

Об этом свидетельствуют данные станций, рабочими агентами в которых служат аммиак и фреон. Так, электростанция, смонтированная вблизи Гавайских островов, смогла отдать в электрическую сеть 12–15 кВт, а на собственные нужды потратила 35 кВт. Несколько лучше показатели энергоустановки на острове Науру. Здесь в режиме максимальной нагрузки выработка электроэнергии составила 120 кВт, а отдача «чистой» мощности в сеть – 31,5 кВт. Планируется ввод в действие более мощных станций.

Специалисты, разрабатывающие проекты, поставили себе цель добиться снижения расхода электроэнергии станциями на собственные нужды до 10 % от количества располагаемой энергии [4–10]. Однако этим планам не суждено сбыться. Данное обстоятельство объясняется необоснованным переносом технических решений, применяемых в традиционной энергетике, в сферу конструирования океанических электростанций (ОЭС). В частности, создатели ОЭС не учитывают энергетические

© Б.А. Трошенькин, В.Б. Трошенькин, 2015

ограничения, связанные с применением испарителей и паровых турбин. Отрицательные свойства этих ограничений особенно четко проявляются при использовании малых разностей температур.

Цель исследования, постановка задачи

Необходимо показать, что наиболее перспективным двигателем, способным эффективно использовать малые разности температур природных и промышленных вод, является турбина, использующая энергию вскипающей воды.

Путем сравнения термодинамических циклов энергоустановок, использующих низкопотенциальное тепло промышленных и природных вод, предстоит доказать преимущества применения гидропаровых турбин перед паровыми.

По нашему мнению, в энергоустановке, представленной на рис. 1, устранены недостатки, присущие электростанциям с паровыми турбинами [11–14].

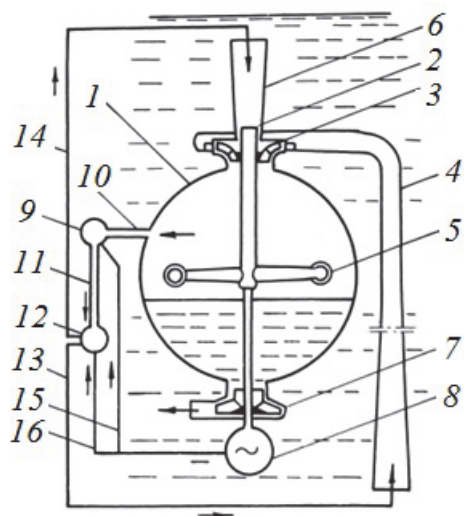


Рис. 1 – Схема энергоустановки с гидропаровой турбиной:

- 1 – испарительная камера; 2 – вертикальный полый вал; 3 – гидравлическая турбина;
- 4 – трубопровод холодной воды; 5 – гидропаровая турбина; 6 – трубопровод теплой воды;
- 7 – центробежный насос; 8 – электрогенератор;
- 9 – воздушный насос; 10, 11 – трубопровод удаляемых газов; 12 – реактор;
- 13, 14 – трубопровод жидкого полимера;
- 15, 16 – электрокабель

неконденсирующиеся газы (в основном выделяющийся из воды углекислый газ с парами воды). Далее газы по трубопроводу 11 направляют в реактор 12. В реакторе углекислый газ взаимодействует с сопровождающим его водяным паром, в результате чего синтезируют углеводороды. Здесь же в реакторе 12 углеводороды полимеризуют и через трубопроводы 13 и 14 направляют в потоки теплой и холодной воды. Полимеры растворяются и снижают турбулентность воды, чем достигают уменьшения сопротивления трубопроводов и каналов турбин и насоса течению водных потоков. Для приведения установки в рабочее состояние крайне важно предварительно откачать теплую воду из трубопровода холодной воды. Поэтому запуск системы в действие производят от внешнего достаточно мощного источника энергии. При этом электрогенератор 8 используют в качестве электродвигателя.

Тёплая вода из верхних слоев океана по трубопроводу 6 через полый вал 2 непрерывно поступает в гидропаровую турбину 5 (в данном случае турбина выполнена в виде сегнерова колеса). В соплах турбины происходит вскипание потока воды и расширение образующегося пара до конечного противодавления. Пар, расширяясь, сообщает ускорение пароводяной смеси. Возникающая в соплах Лавалья реактивная сила приводит во вращение вал 2, в результате чего обеспечивает работу насоса 7 и электрогенератора 8, где механическая энергия преобразуется в электрическую.

Холодная вода по трубопроводу 4 через гидравлическую турбину 3 поступает в камеру 1, верхняя часть которой является конденсатором. После конденсации пара образующийся конденсат вместе с потоками холодной и теплой воды удаляют из камеры 1 насосом 7. Вакууммирование камеры 1 производят насосом 9, откачивающим через трубопровод 10

Как известно, холодная вода имеет плотность более высокую, чем теплая. В стационарных условиях уровень холодной воды в трубопроводе 4 оказывается примерно на 1 м ниже поверхности океана. Так как в камере 1 постоянно поддерживается вакуум, то поступление в нее потоков теплой и холодной воды происходит самотеком.

При этом учитывалось, что размещение центробежного насоса на одном валу с тепловой и гидравлической турбинами приводит к тому, что с погружением станции расход энергии центробежным насосом 7 возрастает незначительно, поскольку увеличивающаяся потенциальная энергия теплой и холодной воды целиком используется турбинами 3 и 5 для выработки механической энергии, отдаваемой насосу и электрогенератору. Погружение станции на некоторую глубину дает возможность избежать неприятностей, связанных с воздействием ураганов, тайфунов и цунами на ее конструкцию.

Вертикальное положение трубопровода холодной воды достигается значительным утяжелением его нижней части. Реакция струи воды, удаляемой из камеры 1 насосом 7, позволяет станции плыть в нужном направлении, обеспечивая тем самым «сбор» энергии в определенном районе океана.

Предложенная установка проста в изготовлении, имеет малую металлоемкость и, что самое главное, позволяет полезно использовать существенно бóльший теплоперепад по сравнению с паровыми турбинами.

На рис. 2 изображен цикл, реализуемый предлагаемой установкой.

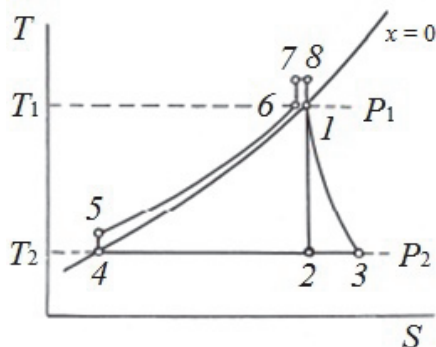


Рис. 2 – Цикл энергетической установки с гидропаровой турбиной в системе координат $T-S$: 1–2 – процесс в расширяющейся части сопла Лавала для идеального цикла, т. е. без потерь энергии на трение; 1–3 – изэнтропийный процесс дросселирования потока; 2–4 – конденсация пара; 4–5 – повышение давления откачивающим центробежным насосом (сопровождается незначительным повышением температуры); 5–6 – нагревание жидкости солнечной радиацией; 6–7 – нарастание давления в горизонтальных каналах турбины за счет центробежной силы; 8–1 – процесс в сходящейся части сопла Лавала

турбины пар подвергают конденсации. Температура конденсации находится также на уровне 7 °С.

Выполним предварительную оценку эффективности предлагаемой и известной энергоустановок.

Для сравнения выбрана установка Клода с паровой турбиной (см. рис. 3), ее цикл представлен на рис. 4. Предположим, что обе энергоустановки работают в равных условиях. Теплая вода поступает на станции с температурой 28 °С, а холодная – с температурой 4 °С. Водяной пар, образующийся при вскипании теплой воды в гидропаровой турбине, конденсируют затем при температуре 7 °С, входя в контакт с холодной водой. Отсюда полезный температурный напор, используемый гидропаровой турбиной, составляет 21 °С.

Процесс в известной установке отличается тем, что водяной пар предварительно получают в специальном испарителе, а лишь затем отправляют в паровую турбину. При вскипании теплой воды в испарителе ее температура снижается с 28 °С до 23 °С. После

Расчет эффективности процесса получения электроэнергии в первом приближении

Как известно, КПД энергетических установок определяют по зависимости [15]

$$\eta = \eta_{и} \eta_{мз} \eta_{к},$$

где $\eta_{и}$ – КПД идеального цикла;

$$\eta_{и} = \eta_t \eta_{ое};$$

η_t – термический КПД; $\eta_{ое}$ – внутренний относительный КПД турбины; $\eta_{мз}$ – КПД, учитывающий различные виды потерь в машинном зале; $\eta_{к}$ – КПД котельной установки или испарителя.

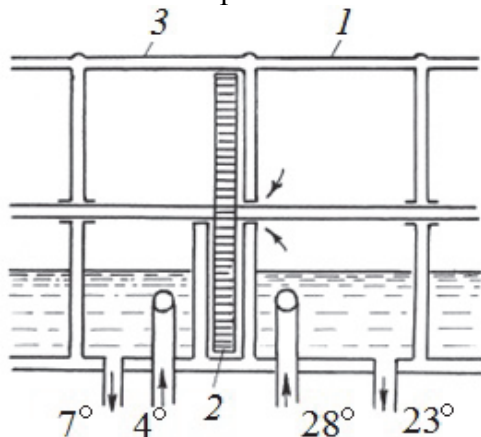


Рис. 3 – Энергетическая установка с паровой турбиной:
1 – испаритель; 2 – турбина; 3 – конденсатор

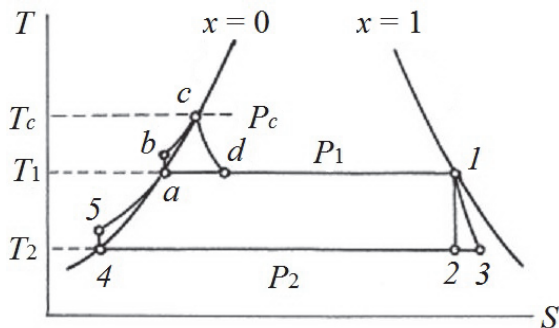


Рис. 4 – Цикл энергетической установки с паровой турбиной в системе координат T–S:

1–2 – процесс расширения пара в идеальном цикле; 1–3 – изоэнтальпийный процесс дросселирования потока; 2–4 – конденсация пара; 4–5 – повышение давления (при незначительном повышении температуры) насосом, откачивающим воду из конденсатора; 5a – нагревание воды, удаляемой из конденсатора, солнечной радиацией; ab – повышение давления (при незначительном повышении температуры) насосом, откачивающим воду из испарителя; bc – нагревание воды, удаляемой из испарителя солнечной радиацией; cd – изоэнтальпийный процесс вскипания воды в испарителе

Очевидно, что приведенное выражение допускает учет потерь на любой стадии рабочего процесса установки путем простого умножения правой части равенства на термический КПД, внутренний относительный КПД, механический КПД и т.д.

Термический КПД идеального треугольного цикла равен (рис. 2)

$$\eta'_t = (T_1 - T_2)/(T_1 + T_2) = 0,36.$$

где – ' (один штрих) относит величину к гидропаровой турбине, а '' (два штриха) – к паровой.

Внутренний относительный КПД гидропаровой турбины примем на уровне $\eta'_{ое} = 0,65$ [16].

В идеальных условиях потери в машинной сфере энергоустановки не будут превышать 5%. Следовательно: $\eta'_{мз} = 0,95$.

Поскольку испаритель, генерирующий водяной пар, в предлагаемой установке отсутствует, то это означает, что $\eta'_к = 1$.

Перемножая полученные значения частных КПД, находим величину общего КПД установки с гидропаровой турбиной $\eta' = 2,22\%$.

В такой же последовательности рассчитываем КПД установки Клода (рис. 4)

$$\eta''_t = (T_1 - T_2)/T_1 = 0,054.$$

Внутренний КПД одноступенчатой паровой турбины мощностью $N = 100$ МВт равен $\eta''_{ое} = 0,65$ [17].

КПД $\eta''_{мз}$ оставляем на том же уровне, что и в предыдущем случае. КПД использования тепла испарителем при вскипании поверхностной воды в процессе *cd* (рис. 4) оцениваем по зависимости

$$\eta''_к = (c'_c t_c - c'_a t_a) / (c'_c t_c - c'_4 t_4).$$

Поскольку теплоемкость воды при малых температурных перепадах изменяется слабо, то с незначительной погрешностью мы можем рассчитать КПД испарителя по формуле

$$\eta''_к = (t_c - t_a) / (t_c - t_4) = 0,238.$$

Зная величины частных КПД, после несложных вычислений находим значение общего КПД известной установки $\eta'' = 1,06 \%$.

Отношение значений общих КПД сравниваемых энергоустановок имеет величину

$$z = \eta' / \eta'' = 2,1.$$

Таким образом, эффективность разработанной нами установки более чем в 2 раза превышает эффективность установки Клода. В этом нет ничего удивительного, так как большая часть тепла, поступающего с поверхностной водой в испаритель известной установки, отправляется неиспользованной вновь в океан.

Для снижения сопротивления трубопроводов течению теплой и холодной воды предложено добавлять в потоки полимеры, получаемые на основе газов, выделяющихся под вакуумом из морской воды [11].

Расчет во втором приближении учитывающий затраты энергии на эксплуатацию самих электростанций показывает, что предлагаемая энергоустановка в 2,4 раза эффективнее известной установки Клода-Бушера [18].

Тонкий поверхностный слой океана, обладающий тепловой энергией, не позволяет развить единичную мощность энергетической установки. Станция мощностью 100 МВт является уже довольно значительной. Она обладает следующими размерами: диаметр трубопровода теплой воды – 7,0 м; диаметр гидропаровой турбины – 17 м. Истечение парожидкостной смеси происходит из 6 сопел, диаметр выходного сечения каждого из которых составляет 4,5 м.

Подсчитано, что с экваториального пояса океана площадью в 5 млн. км² можно получить, используя гидропаровую турбину, более 7 ТВт энергии.

Как мы видим, освоение самого мощного источника энергии на Земле целиком зависит от успехов в создании теплового двигателя, работающего на вскипающей жидкости.

На океанических станциях целесообразно разместить энергоемкие производства сплавов, белка и химических продуктов.

В настоящее время вблизи крупных конденсационных электростанций (КЭС) размещаются озера, в которые сбрасывается основная часть низкопотенциального тепла. При этом на выходе из конденсаторов температура воды может достигать 30 – 35 °С. В тоже время температура воздуха в Восточной части Украины, где расположены наиболее мощные КЭС, опускается зимой до минус 10–15 °С.

Таким образом, в течение примерно полугодия имеется возможность использовать температурный перепад рабочего тела в 25–30 °С. В данном случае в качестве рабочего тела следует рассматривать теплую воду (или конденсат) вскипающую под вакуумом. При вскипании температура снижается от 35 до 3–4 °С.

Так, например, установленная мощность Змиевской КЭС возрастет с 2,4 млн. кВт до 2,472 млн. кВт, т. е. на 72 МВт.

Важно отметить, что освоением гидропаровых турбин занят в настоящее время Калужский турбинный завод и НПВТ «Турбокон». Кроме того, аналогичные испытания проводит Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ) [19–21]. Опыт перечисленных организаций целесообразно использовать в намеченном внедрении данных установок.

К другим важнейшим факторам, говорящим в пользу необходимости освоения гидропаровых турбин, является возможность использования этого типа двигателей в составе геотермических станций. В этом случае удастся вырабатывать примерно тридцать процентов электроэнергии производимой всеми электростанциями мира.

Следует особо подчеркнуть, что рассматриваемая технология является экологически чистой.

Выводы

1) Термодинамическими расчетами показано, что применение гидропаровых турбин вместо паровых при использовании малых разностей температур промышленных и природных вод дает возможность увеличить выработку электроэнергии в 2,1 раза.

2) Целесообразно применять гидропаровые турбины на потоках сбросной воды электростанций и при использовании разности температур воды в океане.

3) Необходимо в ближайшее время обратить особое внимание на исследования течения вскипающих потоков.

Список литературы: 1. История техники [Текст]. – М.; Ленинград: Гл. ред. общетехнической лит. и монографии. ОНТИ НКТП СССР, 1935. – Вып. 3. – 249 с. 2. *Naff, E., Burwell, D.* Mini-OTEC results. «Energy Technol. 7: Expanding Supplies and Conserv. Proc. 7th Conf., Washington, D. C., 1980» [Text] / E. Naff, D. Burwell. – Washington, D. C., 1980. – P. 1263–1271. 3. *Риффо, К.* Будущее – океан [Текст] / К. Риффо. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1978. – 272 с. 4. *Booda, L. L.* An ocean based solar to hydrogen energy conversion concept [Text] / L. L. Booda // *Sea Technol.* – 1974. – No. 15, Vol. 2. – P. 21–24. 5. Экспериментальная ОТЭС мощностью 100 кВт в Республике Науру [Outline of the 100 km OTEC pilot plant in the republic of Nauru] [Text] / T. Mitsui, F. Ito, Y. Seya, Y. Nakamoto // *IFEE Trans. Power Appar. and Syst.* – 1983. – № 9, Vol. 102. – P. 3167–3171. 6. *Weymueller, Carl R.* Oceans of energy – power from warm water [Text] / Carl R. Weymueller // *Weld. Des and Fabr.* – 1982. – № 4, Vol. 55. – P. 92–94. 7. Floating power stations [Text] // *Engineering.* – 1982. – Vol. 222, № 5. – 357 p. 8. *Вершинский, Н. В.* Энергия океана [Текст] / Н. В. Вершинский. – М. : Наука, 1986. – 152 с. 9. *Barnard, R. E.* Плавающая экспериментальная установка. OTEC-1: electrical aspects [Text] / R. E. Barnard, N. Sonenshein // «IEET Reg. 6 Conf.: Elec. Eng. Appl. Pacif., Honolulu, Haw., 1981»: New York. – N. Y., 1981. – P. 211–221. 10. *Докукин, И. П.* Термодинамический анализ и оптимизация электростанций, использующих разность температур морской воды для получения электроэнергии [Текст] / И. П. Докукин // *Теплоэнергетика.* – 1992. – № 10. – С. 68–75. 11. А. с. 730992 (СССР). Способ использования разности температур воды в океане [Текст] / А. Н. Подгорный, И. Л. Варшавский, Б. А. Трошенькин. – Опубл. в Б. И., 1980. – № 16. 12. *Трошенькин, Б. О.* Використання тепла океану для одержання водню [Текст] / Б. О. Трошенькин // *Вісник Академії наук Української РСР.* – 1979. – № 10. – С. 22–30. 13. *Трошенькин, Б. А.* Использование низкопотенциального тепла для получения водорода из воды [Текст] / Б. А. Трошенькин. – Харьков, 1980. – 38 с. (Препринт/АН УССР. Ин-т проблем машиностроения; № 106). 14. *Troshenkin, B. A.* Energy Utilization of Ocean Heat/B. A. Troshenkin // *Program of The First International Conference on New Energy Systems and Conversions. Poster Session: Wind, Ocean, Biomass and Other Renewable Energys (4127).* – June 27 (Sun)–30 (Wed), New Energy System Society (JPN): Yokohama National University. Japan, 1993. – P. 4127. 15. *Зысин, В. А.* Комбинированные парогазовые установки и циклы [Текст] / В. А. Зысин. – М. ;

Ленинград : Госэнергоиздат, 1962. – 186 с. **16.** Барілович, В. А. О тепловой эффективности геотермальных электростанций [Текст] / В. А. Барілович, Ю. А. Смирнов, В. И. Стариков // Теплоэнергетика. – 1985. – № 11. – С. 54–56. **17.** Лосев, С. М. Паровые турбины [Текст] / С. М. Лосев. – М. ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1954. – 368 с. **18.** Трошенькин, Б. А. Возобновляемая энергия. Ч. 1 – Термодинамика атмосферы и океана. Океанические электростанции [Текст] / Б. А. Трошенькин. – Харьков: Форт, 2003. – 104 с. – ISBN 966_02_3053_2 ; ISBN 966_02_3054_0 (Ч. 1) ; ISBN 966_7097_88_9. Сайт общегородского научного семинара при Харьковском доме ученых Web. 05 февраля 2015 <http://seminar.kharkov.ua/index.php?nma=catalog&fla=tema&cat_id=9>. **19.** Вскипающие адиабатные потоки [Текст] / Под общ. ред. д. т. н. Зысина В. А. – М. : Атомиздат, 1976. – 152 с. **20.** Стариков, В. И. Анализ структуры высоковлажного парокпельного потока в криволинейных каналах с целью разработки метода расчета гидропаровых турбин, предназначенных для работы на ГеоТЭС [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.05 / В. И. Стариков. – Ленинград : Ленинградск. ордена Ленина политехн. ин-т им. М. И. Калинина, 1986. – 16 с. **21.** Мильман, О. О. Гидропаровая турбинная установка [Текст] / О. О. Мильман, В. А. Федоров, А. С. Голдин, Н. В. Кривцова // Докл. III Междунар. конф. «Нетрадиционная энергетика в XXI веке». Судак, Крым, 9–15 сент. 2002. – Киев: ИТТФ, 2002. – С. 70–71.

Bibliography (transliterated): **1.** *Ystoryja tehnyky*. Vol. 3. Moscow ; Leningrad : Gl. red. obshhetehnycheskoj lyt. y monografyy. ONTY NKTP SSSR, 1935. Print. **2.** Naff, E., and D. Burwell. *Mini-OTEC results. "Energy Technol. 7: Expanding Supplies and Conserv. Proc. 7th Conf., Washington, D. C., 1980"*. – Washington, D. C., 1980. 1263–1271. Print. **3.** Ryffo, K. Budushhee – okean. Leningrad: Gydrometeoyzdat, 1978. Print. **4.** Booda, L. L. "An ocean based solar to hydrogen energy conversion concept." *Sea Technol.* 15.2 (1974): 21–24. Print. **5.** Mitsui, T., et al. "Eksperymental'naja OTEC moshhnostju 100 kWt v Respublyke Nauru. Outline of the 100 kWt OTEC pilot plant in the republic of Nauru." *IFEE Trans. Power Appar. and Syst.* 102. 9. (1983): 3167–3171. Print. **6.** Weymueller, Carl R. "Oceans of energy – power from warm water/*Weld. Des and Fabr.* 55.4 (1982): 92–94. Print. **7.** Floating power stations/*Engineering* 222.5 (1982). Print. **8.** Vershynskij, N. V. *Energyja okeana*. Moscow: Nauka, 1986. Print. **9.** Barnard, R. E., and N. Sonenshein. "Plavuchaja jeksperimental'naja ustanovka. OTEC-1: electrical aspects." *"IEET Reg. 6 Conf.: Elec. Eng. Appl. Pacif., Honolulu, Haw., 1981"*: New York. N. Y., 1981. 211–221. Print. **10.** Dokukyn, Y. P. "Termodynamicheskyj analiz y optymyzacyja elektrostancyj, yspolzujushhyh raznost temperatur morskoj vody dlja poluchenyja elektroenergyy". *Teploenergetyka* 10 (1992): 68–75. Print. **11.** Podgornyj, A. N., Y. L. Varshavskij and B. A. Troshenkin. "Sposob yspolzovanyja raznosti temperatur vody v okeane". SSSR A.s. [Patent] 730992, 1980. Print. **12.** Troshenkin, B. O. "Vykorystannja tepla okeanu dlja oderzhannja vodnju". *Visnyk Akademii nauk Ukrainskoi RSR*. No. 10. 1979. 22–30. Print. **13.** Troshenkin, B. A. *Ispolzovanye nyzkopotencyalnogo tepla dlja poluchenyja vodoroda iz vody*. Kharkov, 1980. (Preprynt AN USSR, Yn–t problem mashynostroenyja; No. 106). Print. **14.** Troshenkin, B. A. "Energy Utilization of Ocean Heat". *Program of The First International Conference on New Energy Systems and Conversions. Poster Session: Wind, Ocean, Biomass and Other Renewable Energys (4127). – June 27 (Sun) – 30 (Wed)*. New Energy System Society (JPN): Yokohama National University. – Japan, 1993. Print. **15.** Zysyn, V. A. *Kombynyrovannye parogazovye ustanovky i cykly*. – Moscow; Leningrad: Gosenergoyzdat, 1962. Print. **16.** Barylovych, V. A., Ju. A. Smyrnov and V. Y. Starykov. "O teplovoj efektyvnosti geotermalnyh elektrostancyj." *Teploenergetyka* 11 (1985): 54–56. Print. **17.** Losev, S. M. *Parovye turbyny*. Mosco w; Leningrad : Gosenergoyzdat, 1954. Print. **18.** Troshenkin, B. A. *Vozobnovljaemaja energyja. Ch. 1 – Termodynamyka atmosfery i okeana. Okeanycheskye elektrostancyy*. Kharkov: Fort, 2003. ISBN 966_02_3053_2; ISBN 966_02_3054_0 (Ч. 1); ISBN 966_7097_88_9. Print. **19.** *Vskypajushhye adyabatnye potoky*. Ed. V. A. Zysyna. Moscow : Atomyzdat, 1976. Print. **20.** Starykov, V. Y. *Analiz struktury vysokovlazhnogo parokapelnogo potoka v kryvolynejnyh kanalah s celju razrabotky metoda rascheta gydroparovyh turbyn, prednaznachennyh dlja raboty na GeoTES: avtoref. dis. ... kand. techn. nauk*. Leningrad: Lenyngradsk. polytechn. yn-t im. M. Y. Kalinina, 1986. Print. **21.** Mylman, O. O., et al. "Gydroparovaja turbynnaja ustanovka." *Dokl. III Mezhdunar. konf. "Netradycyonnaja energetyka v XXI veke"*. Sudak, Krym, 9-15 sent. 2002. Kiev : YTTF, 2002. 70–71.

Поступила (received) 14.01.2015