

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ВОДОКАНАЛА

Сергей Бойчук

National Academy of Environmental Protection and Resort Development,
Kievskaya street 18, r. 303, Simferopol, Autonomous Republic of Crimea, postcode: 95493, Ukraine,
E-mail: pk@napks.edu.ua

Аннотация. В работе приведены исследование возможностей использования возобновляемых источников энергии на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства для повышения энергоэффективности предприятия в целом. Определены потребности водопроводных очистных сооружений в электроэнергии. Осветлены вопросы, связанные с реализацией электроэнергии по «зеленому» тарифу. Приведен принцип работы турбины Френсиса. Представлена технологическая схема получения электроэнергии из возобновляемых природных источников. Представлены технико-экономические показатели внедряемого проекта. Определена прибыль предприятия от реализуемой полученной электроэнергии.

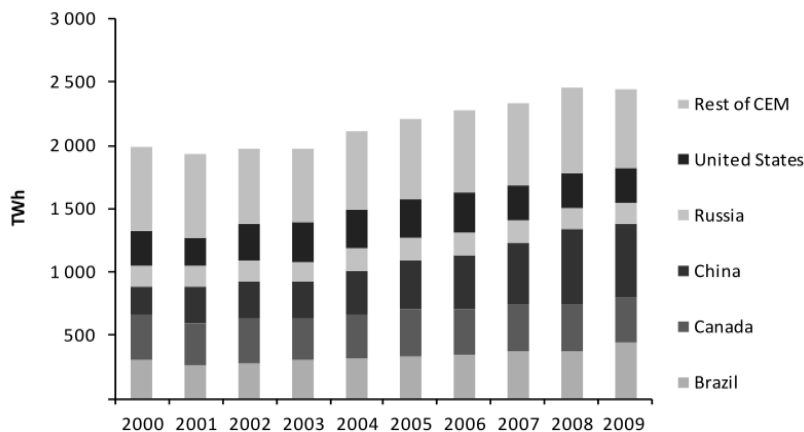
Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гидроузел, водопроводные очистные сооружения, «зеленый» тариф, турбина Френсиса, проект реконструкции, гидроэлектростанция, система водоснабжения.

ВВЕДЕНИЕ

Энергия и эффективность – одно из самых важных составляющих успеха предприятия. Начиная с малого бизнеса и заканчивая крупными государственными предприятиями, вопросы энергоэффективности стоят особо остро, а в существующей экономической ситуации решение задач удержания на уровне рентабельности, безубыточности предприятия являются самыми приоритетными. Реальность определяет условия выживания предприятия в период экономических спадов и нестабильности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Зарубежные исследования свидетельствуют о росте заинтересованности в повышении эффективности работы предприятий, с высокой долей зависимости от энергоносителей, принцип работы которых основан на практическом применении возобновляемых источников энергии. Согласно последнему отчету Международного Энергетического Агентства (IEA) за последнее десятилетие мировой спрос в энергии именно из возобновляемых источников постоянно растет, о чем свидетельствуют данные рис. 1 [7].



Notes: Excludes pumped storage. Some 2009 numbers are estimates.

Рис. 1. График роста мирового использования возобновляемых источников энергии
Fig. 1. The schedule of growth of world use of renewed energy sources

Гигантскими скачками происходит развитие данного направления в Китае и ряде других развивающихся стран. Не маловажную роль в данной тенденции имеет подход с использованием «зеленых» тарифов на энергоносители [4, 8, 9].

На протяжении последних лет, на предприятии Симферопольского водоканала ведется постоянная исследовательская работа в тесном сотрудничестве с кафедрой водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Национальной академии природоохранного и курортного

строительства, а также с ведущими проектными организациями, выполняющими рабочие проекты для внедрения инноваций и технических новшеств [1, 2, 3, 10, 11]. Важно отметить, что за недавнее время на предприятии было проведено исследование требуемых напоров на территории города Симферополя, и выполнен гидростатический баланс. Вопрос избыточных напоров в сетях был решен путем перераспределения подачи воды по сети водоснабжения. За счет проведенного

мероприятия предприятие получило существенное снижение энергопотребления насосными станциями.

Симферопольский водоканал многие годы использует в своей практике частотные преобразователи работы насосных агрегатов там, где целесообразно их использование. При внедрении которых, предварительно проводится исследование режимов работы насосной станции. Это позволило снизить потребление электроэнергии, как в абсолютном выражении - с 88825 тыс. кВт-ч (2002 г.) до 39900 тыс. кВт-ч (2011 г.) так, и из расчета на 1 м³ реализованных услуг централизованного водоснабжения - с 2,06 кВт-ч (2002 г.) до 1,46 кВт-ч (2011 г.), что составляет 44,8%.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В сложившейся ситуации водоснабжения г. Симферополя способы повышения энергоэффективности при помощи возобновляемых источников энергии определены несколькими факторами, например, наличием возможности использования природной избыточной энергии потока воды, путем генерации электроэнергии для собственных нужд гидроузла, удобство перехода на автономную работу ряда существующего оборудования и объектов. Также большой интерес представляет реализация электроэнергии по «зеленому» тарифу при учете соблюдения правовых аспектов [12].

«Зеленый» тариф – это специальная цена, по которой закупается электроэнергия, произведенная при помощи альтернативных источников энергии: солнца, ветра, воды, тепла земли, биогаза и др. Сейчас в Украине по «зеленому» тарифу энергию продают 52 компании, еще год назад их было всего 29. «Зеленый» тариф сегодня используют более 60 стран мира. Это один из самых распространенных и эффективных стимулов развития «чистой» энергетики. В Украине повышенные «зеленые» тарифы были законодательно введены в 2009 году. По зеленым ценам в Украине можно продавать энергию, выработанную с помощью установок, использующих солнце, ветер, биомассу, а также небольших гидроэлектростанций. Украинские «зеленые» тарифы привязаны к «евро» и

пересматриваются Национальной комиссией по регулированию электроэнергии ежемесячно. Если средняя цена кВт-ч. электроэнергии на оптовом рынке равна 0,39 грн., то кВт-ч энергии ветра продается в энергетический рынок по 1,3 грн., «солнечный» кВт-ч обойдется в 5,33 грн. а малые ГЭС производят энергию по 0,89 грн. Многие участники рынка признаются, что механизмы подключения альтернативных электростанций к энергосетям – вопрос сложный и неурегулированный, но «зеленый» тариф привлекает в Украину инвестиции, стимулирует развитие возобновляемой энергетики [12, 13, 14, 15].

С учетом выше изложенного целью данной работы является обоснование параметров выбора гидроэнергетического оборудования для нетрадиционного источника электрической энергии, который мог бы позволить сократить затраты, связанные с энергообеспечением водопроводной очистной станции г. Симферополя (ВОС).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Источником возобновляемой энергии, в данном случае является Партизанское водохранилище, которое расположено на реке Альма. Полезный объем водохранилища оставляет 34,4 млн. м³, отметка НПУ 272 м., отметка минимального расчетного уровня водозабора - 245 м. На ВОС вода поступает по стальному подводному трубопроводу диаметром 1000 мм, длиной 4100 м. Сокращенный профиль водозабора и самотечного водовода представлены на рис 2.

Для выбора энергетического оборудования первоначально следовало определить потребность ВОС в энергии. Собственные нужды гидроузла включают в себя затраты связанные с энергообеспечением всего технологического комплекса водопроводной очистной станции (ВОС): реагентного хозяйства, системы отопления и вентиляции, внутреннего и наружного освещения. Перечень оборудования и количество потребляемой энергии приведены в таблице 1.

Для подбора марки турбины следовало проанализировать данные по подаче Q и напору H .

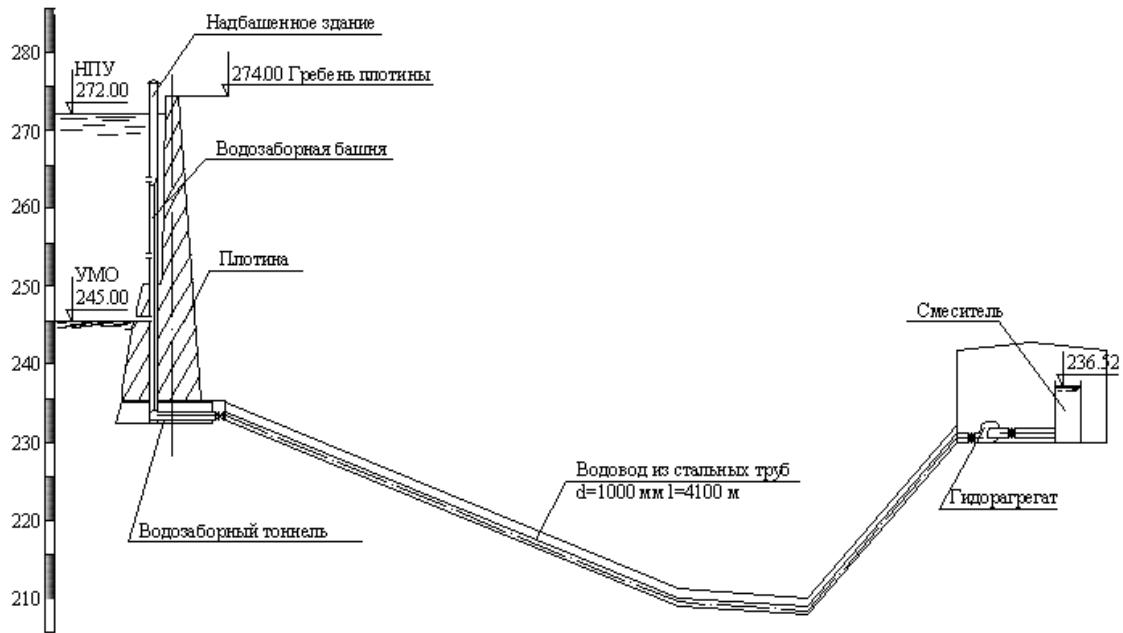


Рис. 2. Сокращенный профиль водозабора и самотечного водовода к площадке ВОС

Fig. 2. Reduced water in take profile and gravity water main to the site of the WCS

Для анализа были использованы отчетные данные службы эксплуатации Партизанского гидроузла о фактических расходах и напорах воды в самотечном водоводе от водохранилища

до площадки ВОС за 8 лет. Сводные данные о подачах на ВОС приведенные в табл. 2. Результаты статистической обработки сводных данных по подачам из табл. 2 представлены на рис. 3.

Таблица 1. Определение количества потребляемой энергии для собственных нужд ВОС

Table 1. Determination of the amount of energy consumed for own needs WCS

N п/п	Наименование потребителя	Потребляемая мощность N, кВт	Продолжительность работы в течение суток, ч	Потребляемая мощность в течение суток N, кВт
1	Воздуходувка	90	0,25	22,5
2	Циркуляционный насос котельной	15	24	360
3	Воздуходувный насос котельной	7	24	168
4	Токарный станок	7	4	28
5	Сварочный аппарат	5	4	20
6	Освещение	50	12	600
7	Задвижки	3	20	60
8	Насос для промывки фильтров	160	2	320
9	Лаборатория	10	24	240
10	Электрический бойлер	10	24	240
11	Насос-дозатор	3	4	12
12	Грузоподъемные механизмы	10	2	20
	Итого	370		2090,5

Таблица 2. Расчет среднегодовой подачи воды на ВОС
Table 2. Calculation of mid-annual water delivery an WCS

Месяц	Значение подачи воды на ВОС по годам в тыс. м ³							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Январь	1537	2139	1671	751,9	2126,2	1210,8	1461,2	1290,1
Февраль	1575	1365	1490	672,5	1812,7	1055,3	1204	1331,2
Март	1390	795	2155	747,9	1945,2	1009,4	1381,6	1338,1
Апрель	1626	1373	2101,5	1940,4	1777,9	1077,7	1344,2	1348,7
Май	1900	1991	2127,5	2120	1926	1064	1596,2	1384,9
Июнь	1570	1997	1940,1	1477	1838,6	1648,8	1699,2	1410,9
Июль	1848	1585	2082,8	2086	1926,6	1935,6	1535,7	1515,4
Август	1719	1785	2056,8	2160,5	1846,8	1469,2	1614,1	1403,5
Сентябрь	1734	1237	2054,9	1936,1	1553,8	1539,8	1535,6	1310,6
Октябрь	2096	1655	1226	2147,6	1409,1	1391,3	1494,3	1406,4
Ноябрь	1975	1632	784	2069,9	1096,4	1312,1	1354,6	1349,5
Декабрь	2061	1688	659,8	2174,5	1021,8	1431,9	1351	1379,9
Итого за	20019	19422	20349,9	20284,3	20271,1	16145,9	17571,7	16469,2

Проверкой по критерию согласия Пирсона [16, 17] установлено, что измеренные величины подач воды на ВОС по годам описываются нормальным законом распределения, для которого дифференциальная функция распределения подач представляется в виде:

$$f(Q) = 0,448 \cdot \exp[-29,412 \cdot (Q - 0,584)^2], \quad (1)$$

и имеет следующие параметры: минимальная подача - $Q_{\min} = 0,255 \text{ м}^3/\text{с}$; максимальная подача - $Q_{\max} = 0,839 \text{ м}^3/\text{с}$, математическое ожидание -

$M(Q) = 0,584 \text{ м}^3/\text{с}$, среднее квадратическое отклонение - $\sigma_Q = 0,592 \text{ м}^3/\text{с}$.

Статистические данные о напорах приведены в табл. 3

Для данных условий была выбрана высоконапорная турбина Френсиса, марки ФГ-2-38. Турбина отличается простотой конструкции, надежностью в эксплуатации и низкой ценой.

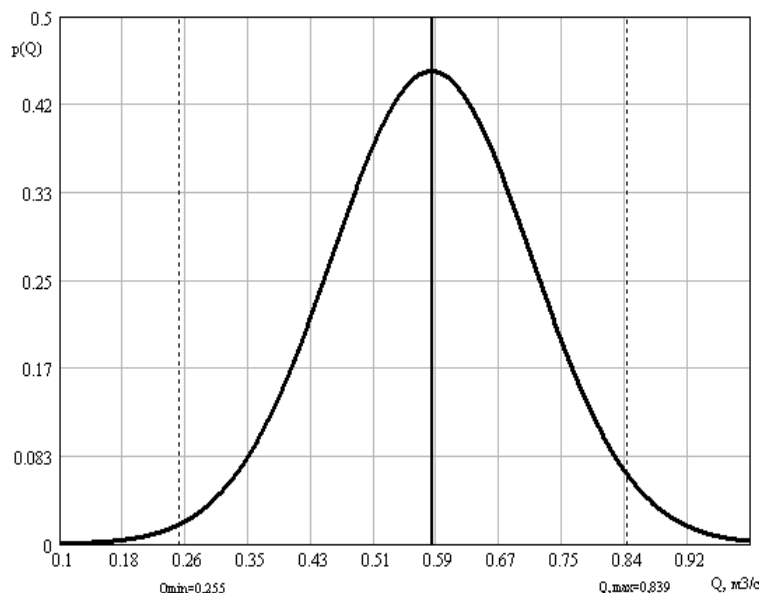


Рис. 3. Результаты статистической обработки измерений подач воды на ВОС
Fig. 3. Result of processing of measurements of water delivery an WCS

Данное оборудование установлено и успешно эксплуатируется на 40 ГЭС в России, Украине, Латвии, Грузии. В 2008 г. отечественным предприятием изготовлены и поставлены для ГЭС в Прикарпатье турбины

В 2009 г. изготовлены две пропеллерные трубные гидротурбины Т-90 с регулируемым направляющим аппаратом мощностью по 500 кВт для Яблунецкой ГЭС в Черновицкой области, две турбины Френсиса ФГ-4 мощностью по 1100 кВт для Шахимарданской ГЭС в Узбекистане.

Турбина марки ФГ-2-38 спирально – радиально осевая с регулируемым поворотным направляющим аппаратом, обеспечивающим устойчивую работу в диапазоне напоров нетто 12-28 м при колебании расходов от 0,2 до 0,4 м³/с. Основные параметры турбины:

- расчетный напор нетто, $H_p = 28 м$,
- максимальный расход воды через турбину при расчетном напоре, $Q_p = 0,4 м^3 / с$,
- номинальная мощность турбины при H_p и Q_p , $N_{турб} = 100 кВт$.

Френсиса мощностью 315 кВт (турбина ФГ-2), 630 кВт (турбина ФГ-6), трубная турбина Т-50 мощностью 100 кВт и две трубные турбины Т-32 по 55 кВт; две турбины Френсиса ФГ-3 по 400 кВт для Сулори ГЭС в Грузии.

- номинальная мощность агрегата при H_p и Q_p , $N_{агр} = 100 кВт$;

- частота вращения, номинальная, $n = 750 об / мин$,

- КПД турбины максимальный, 91%,

- высота отсасывания, $H_s = -4 \dots -5 м$.

Эксплуатационные характеристики агрегата с турбиной ФГ-2-38 представлены на рис. 4.

Генерируемая мощность мини ГЭС может превышать потребляемую мощность оборудования собственных нужд. Избыточная мощность генераторов в этом случае гасится балластной нагрузкой системы автоматического управления генераторами. Установленная мощность оборудования собственных нужд составляет 370 кВт. С учетом неравномерной работы одновременная максимальная потребляемая мощность оборудования составляет 25% или 92 кВт. Техничко-экономические показатели проекта:

Таблица 3. Расчет среднегодового напора воды на входе ВОС
Table 3. Calculation on a mid-annual pressure of water input WCS

Месяц	Значение напоров воды на ВОС по годам в тыс. м ³										Напоры за 10 лет	Напор в среднем за год
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
Январь	-	30,27	31,12	33,44	23,38	26,4	22,17	14,14	29,8	31,64	242,36	26,93
Февраль	23,96	30,04	31,92	33,5	23,00	31,76	20,64	15,96	33,66	33,71	278,15	27,82
Март	25,6	29,77	33,86	33,49	24,76	33,94	23,33	18,34	33,71	34,45	291,25	29,13
Апрель	30,68	31,34	34,17	34,26	25,75	34,53	22,87	27,69	34,13	34,83	310,25	31,03
Май	34,96	31,76	35,24	34,6	25,02	34,67	22,86	29,92	34,58	34,71	318,32	31,83
Июнь	34,48	30,66	35,2	34,64	22,69	34,00	23,76	28,92	34	34,63	312,98	31,3
Июль	34,43	28,73	35,09	33,53	24,6	32,88	22,73	27,46	32,83	34,18	306,46	30,65
Август	33,06	27,21	34,61	31,75	23,1	31,16	20,24	29,01	33,15	34,63	297,92	29,79
Сентябрь	31,71	27,01	34,23	30,14	20,52	29,56	17,51	28,68	32,21	34,43	286	28,6
Октябрь	30,49	28,98	34,25	28,9	18,06	27,85	14,95	28,35	31,25	33,61	276,69	27,67
Ноябрь	29,67	28,84	34,07	26,43	17,23	25,87	12,58	29,76	31,15	32,85	268,45	26,85
Декабрь	34,25	28,32	33,35	24,63	16,86	23,85	12,92	29,33	31,21	32,95	267,67	26,77
Итого за год	31,21	29,41	33,93	31,61	22,08	30,54	19,71	25,63	32,64	33,89		29,03

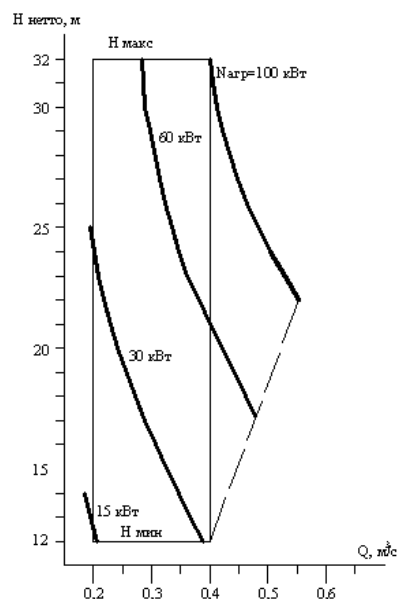


Рис. 4. Эксплуатационная характеристика гидроагрегата с радиально-осевой турбиной ФГ-2-38 частотой вращения $n=750$ об/мин

Fig. 4. The operational characteristic of the hydrounit with the roodially – axial turbine and frequency of rotation

Таблица 4. Техничко-экономические показатели проекта

Table 4. Technical and economic indicators of the project

N п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Количество	Примечание
1	Гидротурбины ФГ-2-38	шт.	2	«МИНИГИДРО» г. Харьков
	- расход турбины	м ³ /с	0,2-0,4	
	- напор (нетто)	м	12-30	
	- мощность	кВт	30-100	
	- мощность станции	кВт	30-200	
2	Генераторы 5 АМЗ15М8	шт.	2	
	- мощность генератора	кВт	110	
	- частота вращения	об/мин	750	
	- напряжение	U	380	
	- частота тока	Гц	50	
3	Схема работы гидростанции	Параллельно с промышленной сетью		
4	Использование генерирующей мощности	На собственные нужды гидроузла		
5	Среднегодовая проектная выработка ГЭС	тыс. кВт	963	Стоимость 1 кВт/час 0,4 грн.
6	Продолжительность строительства	мес.	3,0	
7	Стоимость строительства	тыс. грн.	2228,455	В ценах 2008 года
	- в т.ч. СМР	тыс. грн.	405,171	
8	Срок окупаемости	лет	5	При росте стоимости электроэнергии

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Конечной целью технико-экономических расчетов является получение экономической эффективности от применения технологического решения. Благодаря предложенному проекту возможно получение следующих результатов:

- Среднегодовая выработка Мини ГЭС составит 963 тыс. кВт;
- Капиталовложения в строительство составят 2228,5 тыс. грн.;
- Стоимость вырабатываемой энергии 385 тыс. грн.;

- Амортизационные отчисления - 44,6 тыс./год;

- Себестоимость одного кВт/час генерируемой мощности Мини-ГЭС составляет 5 коп.

Срок окупаемости 5 лет.

Дополнительного эксплуатационного персонала для обслуживания Мини ГЭС не предусматривается, обслуживание ее вменяется существующему эксплуатационному персоналу.

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод о том, что применение Мини ГЭС позволит не только сэкономить предприятию средства, но даже после истечения срока окупаемости получать прибыль от реализации поученной электроэнергии.

ВЫВОДЫ

1. В результате литературного анализа зарубежных исследований было выяснено, что для уменьшения энергозатрат на производство в последнее время наибольшее распространение получило использование энергии, полученной из возобновляемых нетрадиционных источников.
2. Определены потребности ВОС в электроэнергии, и они составляют 370 кВт.
3. Рассмотрена технологическая схема выработки электроэнергии с применением турбины Френсиса.
4. Подсчитан ожидаемый экономический эффект после ее внедрения на Партизанском гидроузле.
5. Определена ожидаемая прибыль предприятия от реализации по зеленому тарифу полученной электроэнергии.
6. Рассчитана окупаемость данного проекта, и она составляет 5 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalinkevich N, Kalashnikov A, Hontar O., Ignatenko V, Slobodyan O., 2008. Theoretical and experimental reaserarches of return channels of turbomachines. MOTROL - №10А, 71-77.
2. Дашенко А., Николенко В., 2008. Повышение энергетической эффективности силовых агрегатов гидравлических систем. MOTROL - №10А, 173 - 180.
3. Сидорчук О., Боярчук В., Бабич М., Фтома Р., 2008. Використання енергетичного потенціалу малих гірських річок. MOTROL - №10А, 208 - 212.
4. Сиваев, Гордеев, Лыкова, 2010. Институциональные проблемы повышения энергоэффективности жилищного и бюджетного секторов. Институт экономики города. - 100.
5. Учпедгиз. 1957. Бесплотинные гидроэлектростанции. - 62.
6. Правила и инструкции. МЭРФ, 2004. Рекомендации по проектированию технологической

части гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций. - 104.

7. European Small Hydropower Association, Brussels, Belgium, 2009. Sustainable Small Hydro, - 31.

8. Энвер Салиев, 2009. Проблемы развития малой гидроэнергетики на системах водопроводно-канализационного хозяйства Автономной Республики Крым. MOTROL - №11А, 33 - 34.

9. Наталия Ветрова, 2010. Особенности современного состояния проблемы энергосбережения Крыма. MOTROL - №12С, 121 - 128.

10. Николенко И., Пастушенко А., Котовская Е., Бойчук С., 2010. Анализ влияния условий эксплуатации насосной станции на параметры насосных агрегатов. MOTROL - №12С, 36 - 47.

11. Николенко И.В., Пастушенко А.В., Котовская Е. Е., 2010. Обоснование оптимальных параметров насосных агрегатов с учетом условий эксплуатации. // Науковий вісник будівництва. Зб наук. праць. — Харків. — Вип. 60. — 212—222.

12. Закон Украины «Про енергоснабження» 01.06.1994 г. №74/94-ВР.

13. Закон Украины «Про електроенергетику» 16.10.1997 г. №575/97-ВР.

14. Закон Украины «Про комбінороване виробство теплової і електричної енергії (когенерацію) і використання сбросного потенціала». 5.04. 2005 г №2509-IV.

15. Постановление Национальной комиссии, что осуществляет государственное регулирование в сфере энергетики 01.04.2013 г. №366.

16. Бурмулов Ф.Х. Мировская Е.А., 1981. Основы теории вероятностей и математической статистики. – М.: Издательство стандартов – 164 с.

17. Гмурман В.Е., 1979. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа., – 400 с.

ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES IN SIMFEROPOL WATER SUPPLY ENTERPRISE

Summary. The paper presents the study of the possibilities of using renewable energy efficiency of the whole enterprise. Needs of water treatment plants in the electricity identified. Questions connected with electric power realization under “the green” tariff are clarified the principle of work of turbine Frensis is resulted. The technological scheme of reseption of the electric power from renewed natural sources is presented. The profit of the enterprise on the realized received electric power is defined.

Key words: Renewed energy sources hydrosystem, water treatment plants, “the green” tariff, the turbine of Frensis, the reconstruction project, hydroelectric, power station, water supply system.