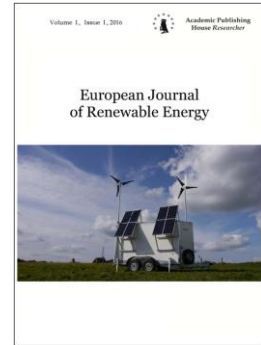


Copyright © 2016 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Journal of Renewable Energy
Has been issued since 2016.
E-ISSN 2454-0870
2016, 1(1): 20-28

DOI: 10.13187/ejore.2016.1.20
www.ejournal51.com



UDC 556

Solar Water Heater and Phytotron for Nutritive Microalgae as an Example of Energy-Saving Technologies

Vladimir N. Petrenko ^{a, *}

^a Sochi State University, Russian Federation

Abstract

The article discusses the development of hybrid solar water heater and phytotron for nutritive microalgae chlorella. The effective equipment for proposed installation and operating conditions of some technological processes were also founded. The author concludes that the main novelty in the presence of two energy exchangers with different spectra multispectral exchange and energy exchange fluid is dictated by the biophysics of microalgae.

Keywords: solar water heater, biotron, microalgae, chlorella, phosphorescent liquid, energy-savings.

1. Введение

В настоящее время практически единственным неисчерпаемым источником энергообеспечения биосферы Земли является солнечная энергия. Гелиоустановками горячего водоснабжения в Сочинском государственном университете начали заниматься более 10 лет назад (рис 1, 2) (Петренко, Садилов, 2005; Садилов, Петренко, 2007; Садилов и др., 2001; Волков, 2012). Годы научных исследований, проведенные на экспериментальной установке, раскрыли большие возможности солнечной энергетики, которые необходимо использовать для возрастающих потребностей человека. Одним из направлений диверсификации солнечных установок можно считать использование их для производства компонентов пищевого рациона. И резерв для этого у гелиоэнергетики существует.

* Corresponding author
E-mail addresses: petrenco@mail.ru (V.N. Petrenko)



Рис. 1. Блок солнечных коллекторов **Рис. 2.** Баки-аккумуляторы горячей воды
гелиоустановки СГУ по ул. Советской, 26-а

На основе анализа экспериментальных данных снятых на работающей гелиоустановке горячего водоснабжения (СКУ ГВС) учебного корпуса СГУ по ул. Советской, 26а за 2005–2006 годы были выявлены хорошие показатели ассимиляции солнечной энергии, построена диаграмма, наглядно показывающая соотношение распределения по месяцам тепловой энергии, выработанной гелиоустановкой и полученной из теплосети.

Месяц	Произведено	Догрето	Отдано	Итого	Нагрев от Солнца %
Июнь 2005	4,34	2,43	0,04	6,73	64,46
Июль 2005	5,74	0,84	0,00	6,58	87,23
Август 2005	5,23	0,67	0,00	5,90	88,72
Сентябрь 2005	4,34	2,43	0,00	6,77	64,09
Октябрь 2005	2,46	2,49	0,00	4,95	49,76
Ноябрь 2005	1,20	3,53	0,11	4,63	25,91
Декабрь 2005	1,56	3,68	0,00	5,25	29,81
Январь 2006	0,86	3,24	0,00	4,11	21,03
Февраль 2006	1,93	3,50	0,00	5,43	35,57
Март 2006	3,33	3,47	0,00	6,80	49,03
Апрель 2006	3,61	2,87	0,00	6,49	55,71
Май 2006	5,10	2,79	0,00	7,89	64,59
Итого	34,62	29,16	0,15	63,63	54,41

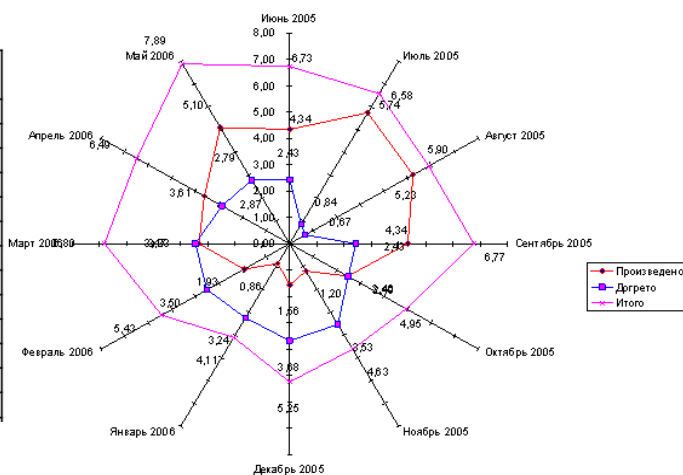


Рис. 3. Экспериментальные данные работы СКУ ГВС учебного корпуса СГУ по ул. Советская, 26а за год **Рис. 4.** Диаграмма соотношения выработки и догрева тепловой энергии по месяцам (внешнее кольцо – общее потребление, синее – догрев, красное – выработка)

За тот год посредством данной установки выработано 34,62 гигакалории тепла, покрыто более 54 % потребности всего здания в горячей воде (рис. 3, 4). Часть невостребованного тепла по договоренности с руководством предприятия городской теплосети передано в обратный трубопровод линейной тепловой магистрали. Однако это тепло можно было использовать для нагрева аквариума фитотрона по выращиванию пищевой микроводоросли, например, хлореллы. И не только снабдить теплом, но и светом. Но почему именно хлореллы? Рассмотрим основные причины.

Мощность падающего солнечного излучения на Землю 1 кВт/м² достаточна для развития и пропитания биообъектов на протяжении миллиарда лет. В ряду фотосинтезирующих растений микроводоросль хлорелла (рис. 5, 6) стоит на первом месте в пищевой цепочке. Имея для питания минеральные соли, углекислый газ и солнечный свет, она является биофабрикой – чемпионом по производству всех незаменимых аминокислот, а

по удельной выработке белка, аскорбиновой кислоты, многих других важных пищевых компонентов превосходит все виды существующих на Земле растений (Богданов, 2007).

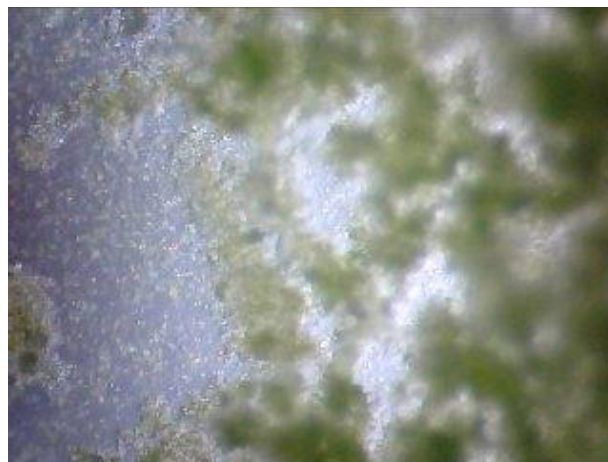
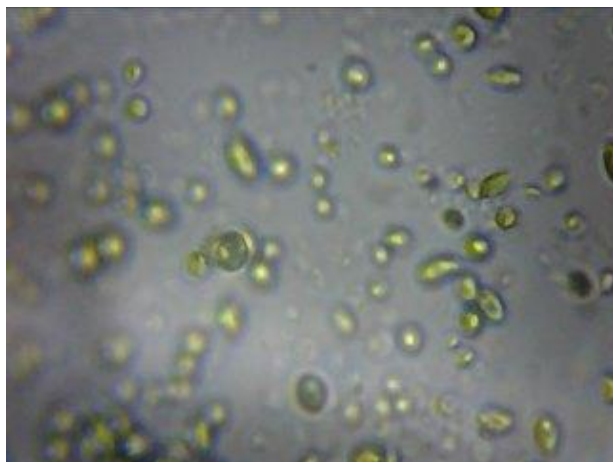


Рис. 5. Хлорелла в среде обитания

Рис. 6. Колонии хлореллы в спячке

С освоением культивирования планктонного вида хлореллы появилась возможность её производства в промышленном масштабе, что позволяет прокормить и энерговооружить человечество более экологичным, безопасным для проживающих на планете способом. Включение в пищевую цепочку, например, в животноводстве, одного из первичных звеньев – суспензии хлореллы, помогает в решении этой проблемы. А решение технической задачи – объединение фото-биотрона – установки по культивированию хлореллы с гелиоустановками по нагреванию воды и выработке электроэнергии, позволяет создать автоматизированную экологическую установку, перерабатывающую непищевое сырье в уникальный пищевой продукт.

2. Материалы и методы

Рассмотрим компоненты установки по производству хлореллы в виде чистой суспензии, исходя из имеющихся общедоступных сведений по ее физиологии.

Простейшая конструкция – открытый водоем – бассейн с устройствами несложной автоматики (рис. 7) (aqualover).

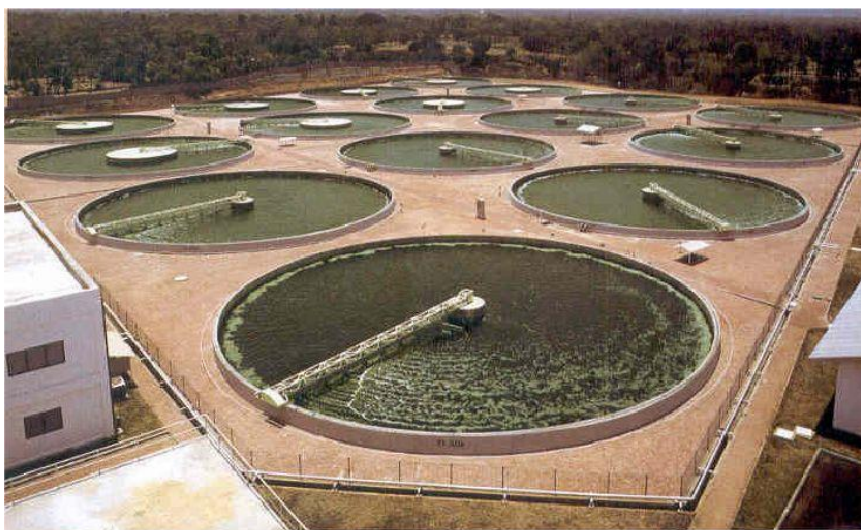


Рис. 7. Открытый бассейн для выращивания хлореллы

Хорош, когда есть свободные площади, подходящий климат для обеспечения оптимальной температуры суспензии (+30°C) и нет требований к бактериальной чистоте. То есть в сельскохозяйственных целях в низких широтах. В средних широтах уже необходим подогрев и дополнительная инсоляция. А если использовать не сухую – умерщвленную хлореллу, потерявшую при сушке и термообработке много полезных свойств, а суспензию живой хлореллы (рис. 8), то требования к бактериальной чистоте становятся особенно жесткими. Питьевая живая хлорелла должна иметь привлекательные органолептические свойства, не иметь патогенной микрофлоры и продуктов распада органики в виде запахов метана, неприятных привкусов.

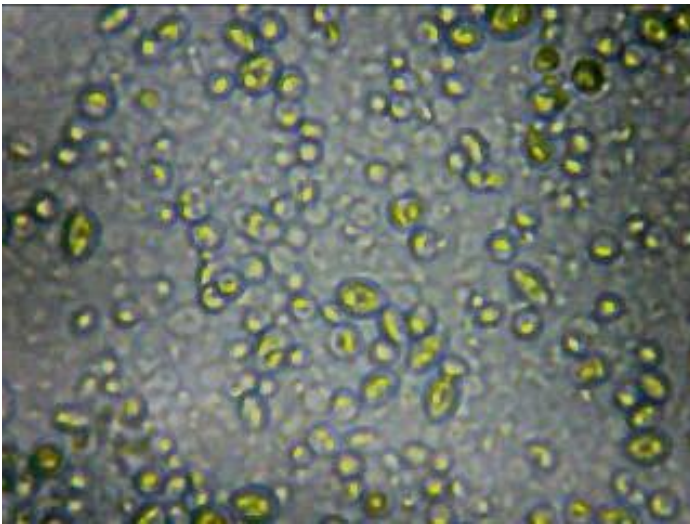


Рис. 8. Суспензия хлореллы

Эти условия диктуют соблюдение стерильности при работе с культурой хлореллы. Сама хлорелла, обладая размерами от 1 мкм после деления взрослой клетки, вырастая до 8–9 мкм взрослой особи, при концентрации более 20 млн/мл становится бактериофагом широкого спектра действия, а при концентрации более 50 млн/мл – монофагом, уничтожающим практически все виды бактерий. При ещё большей концентрации – до 70 млн/мл деление прекращается, хлорелла впадает в анабиоз и может осаждаться на дно водоема. То же произойдет и при любой концентрации, отсутствии освещения в течение нескольких суток. Востребованность такой живой суспензии хлореллы очевидна в больших городах с недостаточной экологией, вредными производствами, где уровень здоровья, иммунитета горожан низок. Здесь обычно нет свободных площадей для организации закрытых тепличных бассейнов выращивания микроводоросли. Эксплуатируются крыши домов для установки СКУ ГВС.

В последние 40 лет после открытия в 1977 г. в Нурекском водохранилище хлореллы планктонного вида, названной *Chlorella Vulgaris* ИФР №С-111, распространение получили автоматизированные комплексы, позволяющие получать живую суспензию в промышленных масштабах. Планктонная природа микроводоросли, вызванная значительным электропотенциалом, уменьшает осаждение клеток на стенках трубопроводов и соляризаторов. Прочные стенки клеток позволяют выдерживать кавитационные эффекты в циркуляционных насосах, концентрации кислот, губительные для остальных водорослей и бактерий, что чрезвычайно важно в процессе первичного получения посевного инокулята.

3. Обсуждение

Имея возможность установки коллекторов на южной стороне дома, можно создать гибридную солнечную водонагревательную установку и устройства по выращиванию хлореллы.

Рассмотрим необходимые критерии технологических параметров автоматизированной системы. Будем исходить из предположения, что прокачка суспензии хлореллы через

стеклянные трубы коллекторов, установленных на крыше дома, нас не устроит по простой причине (рис. 9) (zabitoe).



Рис. 9. Установки на крыше здания для выращивания хлореллы

Выпадает функция горячего водоснабжения, т.к. необходимость оптимизации поддержания 30°C не позволит получать теплоноситель с температурой 55°C , необходимую для горячего водоснабжения. При этом на крыше придётся дополнительно устанавливать защиту от избыточного тепла Солнца наподобие оранжереи. Однако можно предложить прокачивать через прозрачные коллекторы теплоноситель (обессоленная вода, антифриз) с включенными частицами (суспензия) светонакопителя, отдающего в дальнейшем суспензии хлореллы необходимую ей световую энергию.

Избыточную тепловую энергию можно отбирать с помощью теплообменника, а остывшую до 35°C пропускать через светообменник.

Выбор параметров светонакопителя.

Клетки выбранного штамма хлореллы содержат незамкнутый поясок хлоропласта, занимающий половину ее размера, содержащего хлорофилл на основе магния (рис. 3). Хлоропласт отражает в зеленой видимой части спектра – 550 нм . Из теории распространения радиоволн известно, что максимальное поглощение энергии электромагнитных колебаний происходит в электропроводнике, равном длине волны и четных её гармоник. Эффективность поглощения более коротковолнового излучения уменьшается вследствие отражения части падающих волн. Следует предположить, что взрослые особи ($6\text{--}8\text{ мкм}$) активно ассимилируют тепловую инфракрасную часть спектра от 6 мкм и менее. Прямое воздействие излучения с длиной волны более 9 мкм (размера взрослой особи) будет неэффективно из-за дифракционных и краевых явлений. Подростки эффективно поглощают ближний инфракрасный спектр от 2 мкм , красную $620\text{--}750\text{ нм}$ часть видимого света. Молодые клетки, размером около 1 мкм имеют полоску хлоропласта размером, позволяющим ассимилировать синие и фиолетовые части спектра ($350\text{--}480\text{ нм}$), ближний ультрафиолет. Кроме того, можно предположить, что темно-синий спектр, в природе запускает в хлорелле ночной механизм деления клетки. Более высокочастотное излучение для них не эффективно, а также вредно для установки, т.к. может провоцировать развитие вирусов, имеющих размеры, тропные более высоким частотам. Поэтому в теплоносителе необходимы два флуоресцента: красный (red) и синефиолетовый (cyan). Их свечение пропустит в суспензию кварцевое стекло пластинчатого, или трубчатого светообменника. Оно же пропустит дальний инфракрасный – тепловой спектр теплоносителя контактным путем через стенки, осуществляя оптимальный подогрев воды суспензии.

4. Результаты

Рассмотрим более подробно конструкцию предлагаемой установки. Для этого взятую, как прототип, стандартную схему солнечной коллекторной установки горячего водоснабжения (СКУ ГВС), состоящую из солнечного коллектора (СК), теплообменника (ТО), наполненного теплоносителем – теплопередающей жидкостью и циркуляционного насоса (М1), предложено доработать в части возможности переноса в теплоносителе светоносных частиц (рис. 10). Возможно применить фосфоресцирующую жидкость, либо смесь фосфоресцирующих нерастворимых красителей в виде мелкодисперсной суспензии с накачкой ультрафиолетом и собственным свечением в красной и синей части видимого светового диапазона. Типы фосфоресцентных, их конкретный состав в рамках данной работы нами не рассматривается. Солнечный коллектор необходимо применить прозрачного типа – широкоспектрального пропускания солнечного излучения, например, пластиковой конструкции на базе поликарбоната, или кварцевого стекла.

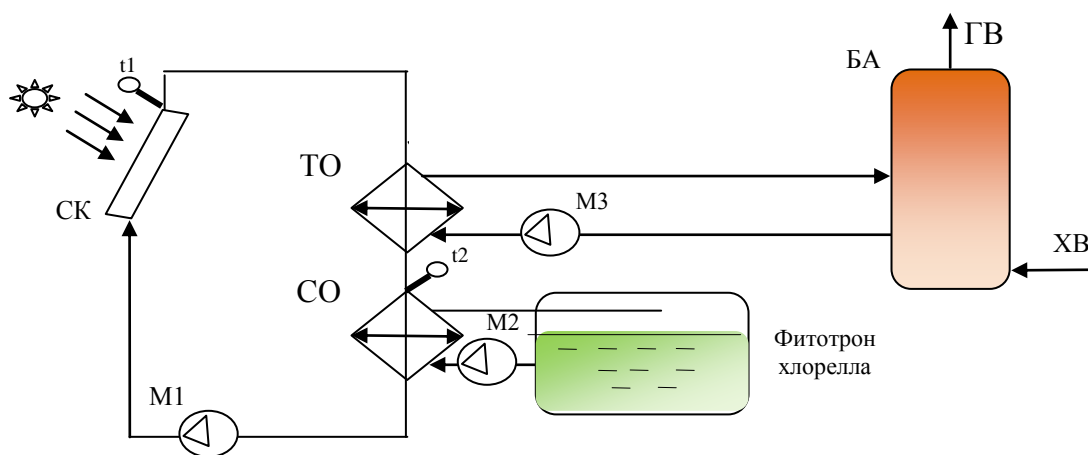


Рис. 10. Технологическая схема гибридной установки (упрощенная)

Основное условие – установка по ходу движения тепло-светоносителя последовательно по схеме ТО и после него светообменника (СО). Отбор тепла при этом будет осуществляться посредством ТО до оптимальной температуры развития хлореллы (30–40°C), что должно контролироваться автоматикой посредством насоса М1 регулированием скорости его прокачки. То есть:

- $t_1 > 30 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \text{М1-вкл.}$
- $t_2 < 35 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \text{М2-стоп.}$
- $t_2 > 35 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \text{М2-вкл.}$

При невыполнении этого условия возможен перегрев суспензии, коагуляция белка микродоросли и ее гибель. Утилизация тепла от теплообменника для нагрева воды системы ГВС осуществляется посредством насоса (М3) с накоплением тепловой энергии в баке-аккумуляторе БА, в который снизу подается холодная вода (ХВ), с верхней части бака отбирается нагретая горячая вода (ГВ). Оптимально тепло от БА использовать в ночное время для стабилизации температуры биотрона автоматикой подогрева с обратной связью по температуре суспензии. Остывший до предложенного выше диапазона температур теплоноситель передается в светообменник. В нем лучистая энергия светоносных частиц передается суспензии хлореллы в красно-синем световом диапазоне.

Конструкция светообменника.

На рис. 11 представлен *трубчатый светообменник* (верхняя симметричная половина) в виде пакета стеклянных труб диаметром несколько сантиметров с таким же просветом между ними, вставленных в широкую трубу, наподобие трубчатого теплообменника. Он высокопрочен, оптимальное применение в высотном здании, где перепад высот СК и фитотрона может достигать десятков метров, и разница давлений между тепло-светоносителем и суспензией составляет несколько атмосфер.

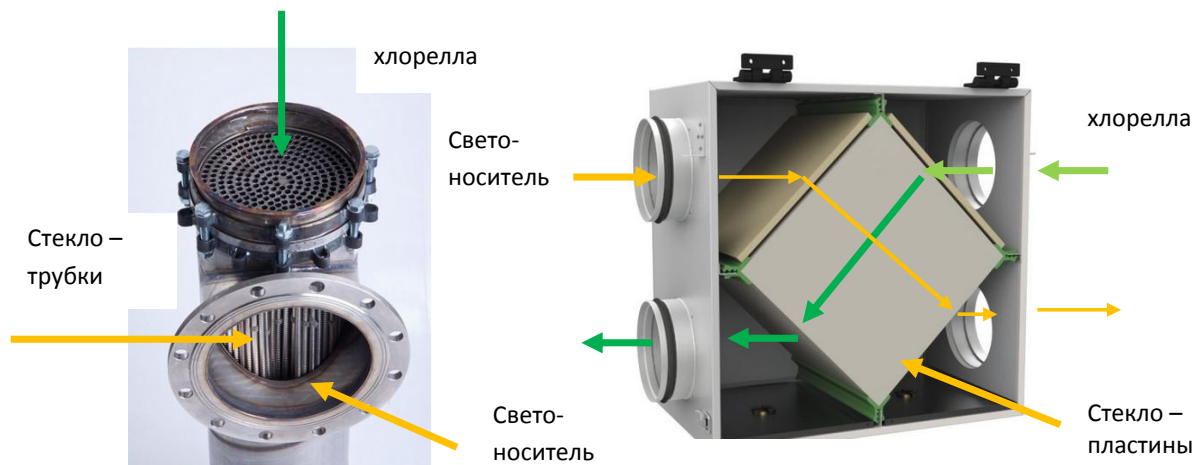


Рис. 11. Конструкция светообменника

Пластинчатый светообменник (рис. 12) – пакет стеклянных, или поликарбонатных пластин, толщиной несколько миллиметров, с просветами между ними шириной 1–2 см, в которых в нечетных просветах прокачивается суспензия хлореллы, а в четных – светонесущая суспензия. Ограничение на применение пластинчатого светообменника связано только с его прочностными характеристиками, в связи с возможным перепадом давления до атмосферы в контуре солнечного коллектора и фитотрона микроводоросли в невысоких зданиях.

Главное достоинство подобных светообменников – незначительное экранирование суспензией светового потока, что является большой проблемой в массивных чанах обычных фитотронов, где из-за экранировки света активность фотосинтеза резко убывает по мере удаления от светильника.

5. Заключение

Основная новизна установки – в наличии двух энергообменников с разными спектрами обмена и мультиспектральной энергообменной жидкости, диктуемые биофизикой микроводоросли (Богданов, 2007; biovet-service; hlorella; Liang et al., 2009). Оптимальные размеры установки, её производительность зависит от площадей свободной соляризованной поверхности здания, коэффициента затененности батареи СК высотными соседними зданиями.

Примечания

Богданов, 2007 – Богданов Н.И. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных. Пенза, 2-е изд., перераб. и доп., 2007. 48 с.

Волков, 2012 – Волков А.Н. Разработка программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности бюджетных учреждений рекреационного региона с учетом рационального использования потенциала возобновляемых источников энергии // Известия Сочинского государственного университета. 2012. № 4. С. 166–172.

Петренко, Садилов, 2005 – Петренко В.Н., Садилов П.В. Опыт параллельной работы гелиоустановки и теплосети в регионе г. Сочи // Промышленная энергетика. 2005. №10. С. 47-50.

Садилов и др., 2001 – Садилов П.В., Волков А.Н., Чураков Ю.А. и др. Разработка и внедрение первой в районе Сочи солнечно-топливной котельной // Промышленная энергетика. 2001. № 12. С. 47-49.

Садилов, Петренко, 2007 – Садилов П.В., Петренко В.Н. Состояние и перспективы использования возобновляемых видов энергии в современных условиях // Вестник СГУТиКД. 2007. №1-2. С. 31-33.

[aqualover](http://www.aqualover.ru/fauna/spirulina-and-chlorellas-industrial-production.html) – aqualover [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.aqualover.ru/fauna/spirulina-and-chlorellas-industrial-production.html> (дата обращения 18.09.2016).

[biovet-service](http://biovet-service.ru/techno/hlr.html) – biovet-service [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://biovet-service.ru/techno/hlr.html> (дата обращения 22.09.2016).

[hlorella](http://ekovse.ru/hlorella) – hlorella [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ekovse.ru/hlorella> (дата обращения 25.09.2016).

Liang et al., 2009 – Liang, Y., Sarkany, N., & Cui, Y. (2009). Biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* under autotrophic, heterotrophic and mixotrophic growth conditions. *Biotechnology Letters*, 31 (7), 1043–1049. <http://doi.org/10.1007/s10529-009-9975-7>.

[zabitoe](http://zabitoe.ru/node/24) – zabitoe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zabitoe.ru/node/24> (дата обращения 18.09.2016).

References

Bogdanov, 2007 – Bogdanov N.I. Suspensiya khlorelly v ratsione sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [The suspension of chlorella in the diet of farm animals]. Penza, 2-e izd., pererab. i dop., 2007. 48 s.

Volkov, 2012 – Volkov A.N. Razrabotka programm v oblasti energosberezheniya i povysheniya energeticheskoi effektivnosti byudzhetykh uchrezhdenii rekreatsionnogo regiona s uchetom ratsional'nogo ispol'zovaniya potentsiala vozobnovlyaemykh istochnikov energii [The development of programs in the field of energy saving and increase of power efficiency of budgetary institutions recreation region, taking into account rational usage of the potential of renewable energy sources] // *Izvestiya Sochinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. № 4. S. 166–172.

Petrenko, Sadilov, 2005 – Petrenko V.N., Sadilov P.V. Opyt parallel'noi raboty gelioustanovki i teploseti v regione g. Sochi [The experience of parallel operation of the solar thermal system and heat network in the Sochi region] // *Promyshlennaya energetika*. 2005. №10. S. 47-50.

Sadilov i dr., 2001 – Sadilov P.V., Volkov A.N., Churakov Yu.A. i dr. Razrabotka i vnedrenie pervoi v raione Sochi solnechno-toplivnoi kotel'noi [The development and implementation of the first in Sochi solar and fuel boiler] // *Promyshlennaya energetika*. 2001. № 12. S. 47-49.

Sadilov, Petrenko, 2007 – Sadilov P.V., Petrenko V.N. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh vidov energii v sovremennykh usloviyakh [The status and prospects of renewable energy in modern terms] // *Vestnik SGUTiKD*. 2007. №1-2. S. 31-33.

[aqualover](http://www.aqualover.ru/fauna/spirulina-and-chlorellas-industrial-production.html) – aqualover [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.aqualover.ru/fauna/spirulina-and-chlorellas-industrial-production.html> (data obrashcheniya 18.09.2016).

[biovet-service](http://biovet-service.ru/techno/hlr.html) – biovet-service [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://biovet-service.ru/techno/hlr.html> (data obrashcheniya 22.09.2016).

[hlorella](http://ekovse.ru/hlorella) – hlorella [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://ekovse.ru/hlorella> (data obrashcheniya 25.09.2016).

Liang et al., 2009 – Liang, Y., Sarkany, N., & Cui, Y. (2009). Biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* under autotrophic, heterotrophic and mixotrophic growth conditions. *Biotechnology Letters*, 31 (7), 1043–1049. <http://doi.org/10.1007/s10529-009-9975-7>.

[zabitoe](http://zabitoe.ru/node/24) – zabitoe [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://zabitoe.ru/node/24> (data obrashcheniya 18.09.2016).

УДК 556

Гелиоустановка горячего водоснабжения и фитотрон пищевой микроводоросли – пример применения энергосберегающих технологий

Владимир Николаевич Петренко ^{a, *}

^a Сочинский государственный университет, Российская Федерация

Аннотация. В статье затронуты аспекты создания гибридной гелиоустановки горячего водоснабжения (СКУ ГВС) и фитотрона по выращиванию пищевой микроводоросли хлореллы с обоснованием предлагаемых компонентов установки и режимов некоторых технологических процессов. В заключении автор отмечает, что Основная новизна установки – в наличии двух энергообменников с разными спектрами обмена и мультиспектральной энергообменной жидкости, диктуемые биофизикой микроводоросли.

Ключевые слова: солнечная коллекторная установка, биотрон, микроводоросль, хлорелла, фосфоресцирующая жидкость, энергосбережение.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: petrenco@mail.ru (В.Н. Петренко)