ISSN-1682-0533

Научно-Техническое Общество «КАХАК»

ИЗВЕСТИЯ

Научно-Технического Общества «КАХАК»

2015, № 3 (50)

Алматы, 2015

ИЗВЕСТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА «КАХАК»

Алматы, 2015 г., № 3 (50)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Пак И.Т. – заслуженный деятель науки и техники РК, доктор технических наук, профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бияшев Р.Г. – доктор технических наук, профессор; **Кан В.М.** – доктор сельскохозяйственных наук; **Ким Н.Х.** – кандидат технических наук, профессор; **Мукашев Б.Н.** – доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК; **Мун Г.А.** – доктор химических наук, профессор, ***заместитель главного редактора;*** **Сон Э.Е.** – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Москва, РФ); **Цой О.Г.** – доктор медицинских наук, профессор; **Цой С.В.** – доктор технических наук, профессор; **Khatskevich V. Kh.** – доктор технических наук, профессор (Нью-Йорк, США); **Kim Byung-Soo** – PhD (Сеул, Республика Корея); **Park Kinam** – PhD, профессор (Уэст Лафейетт, США); **Ю В.К**. – доктор химических наук, профессор, ***ответственный секретарь***, **Югай О.К**. – кандидат химических наук, ***зам. ответственного секретаря***.

EDITOR-IN-CHIEF

Pak I.T. - Honored Worker of Science and Technology of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, professor

THE EDITORIAL BOARD:

Biyashev R.G. – Doctor of Technical Sciences, professor; **Kan V. M.** – Doctor of Agricultural Sciences; **Kim N. Kh.** – Candidate of Technical Sciences, professor; **Mukashev B. N.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, NAS RK academician; **Mun G. A.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, ***Deputy Chief Editor;*** **Son E. E.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation), **Tsoy O.G.** – Doctor of Medical Sciences, professor; **Tsoy S.V.** – Doctor of Technical Sciences, professor; **Khatskevich V. Kh.** – Doctor of Technical Sciences, professor (New-York, USA); **Kim Byung-Soo** - PhD (Seoul, Republic of Korea); **Park Kinam** – PhD, professor (West Lafayette, USA); **Yu V. K.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, *Managing Editor;* **Yugay O. K.** – Candidate of Chemical Sciences, *Deputy Managing Editor*

Учредитель: Научно-техническое общество «КАХАК»

Издается с 1998 г.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 1561-ж от 3 ноября 2000 г.
Выдано Министерством культуры, информатики и общественного согласия Республики Казахстан

Подписной индекс: 74838

Подписку можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта».
Подписка продолжается в течение года.

Адрес редколлегии и редакции:
050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 125, к. 108.
телефон 8-(727)-2727902, 2916069

e-mail: izv.ntokaxak@mail.ru

Сайт: www.ntokaxak.kz

ISSN-1682-0533

© Научно-Техническое Общество «КАХАК»

ХИМИЯ

УДК 615.211.012:547.822.3

ФТОРБЕНЗОАТЫ 1-(2-ФЕНИЛЭТИЛ)-4-КЕТОКСИМПИПЕРИДИНА С ПРОТИВОМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Ахметова Г.С.[1], Ибраимбек А.К.[2], Садырбаева Ф.М.[2], Отеш А.[2], Ю В.К.[1], Пралиев К.Д.[1], Ильин А.И.[3], Леонова Н.В.[3], Сейлханов Т.М.[4], Идрисова Р.[5]

[1]АО «Институт химических наук им. А. Б. Бектурова», Алматы, Республика Казахстан
[2]АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Республика Казахстан
[3]АО «Научный центр противоинфекционных препаратов», Алматы, Республика Казахстан
[4]Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Республика Казахстан
[5]Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: gulgakhmet@rambler.ru

Представлены результаты изучения основных термодинамических закономерностей реакции радикального бромирования декалина. Исследовано влияние температуры, продолжительности реакции, кратности процесса, соотношения исходных компонентов, типа и количества инициатора на степень бромирования декалина. Оптимизация технологии процесса радикально-цепного бромирования декалина приводится впервые. Определены оптимальные технологические параметры синтеза каждого из 14 полученных бромпроизводных декалина.

Ключевые слова: *п-фтор-, м-фтор-, о-фторбензоаты 1-(2-фенилэтил)-4-кетоксимпиперидина, синтез, спектроскопия ЯМР, противомикробная активность*

Escherichia coli ATCC 25922, Escherichia coli ATCC-BAA-196, Klebsiella pneumonia ATCC 10031, Klebsiella pneumonia ATCC 700603, Staphylococcus aureus ATCC 6538-P, Staphylococcus aureus ATCC-BAA-39, Candida albicans ATCC 10231 микроағзалардыңмұражай штаммдарынақатысты әр түрлі дәрежеде микробқа қарсы in vitro белсенділік көрсеткен 1-(2-фенилэтил)-4-кетоксимпиперидиннің п-фтор, м-фтор, о-фтор-бензоаттары синтезделінді.

Тірек сөздер: *1-(2-фенилэтил)-4-кетоксимпиперидиннің п-фтор-, м-фтор-, о-фторбензоаттары, синтез, ЯМР спектроскопия, микробқа қарсы белсенді.*

It had been synthesized p-fluoro-, m-fluoro-, o-fluorobenzoates of 1-(2-phenylethyl)-4-ketoximpiperidine possess varying degrees of anti-microbic activity in vitro against museum strains of microorganisms: Escherichia coli ATCC 25922, Escherichia coli ATCC-BAA-196, Klebsiella pneumonia ATCC 10031, Klebsiella pneumonia ATCC 700603, Staphylococcus aureus ATCC 6538-P, Staphylococcus aureus ATCC-BAA-39, Candida albicans ATCC 10231.

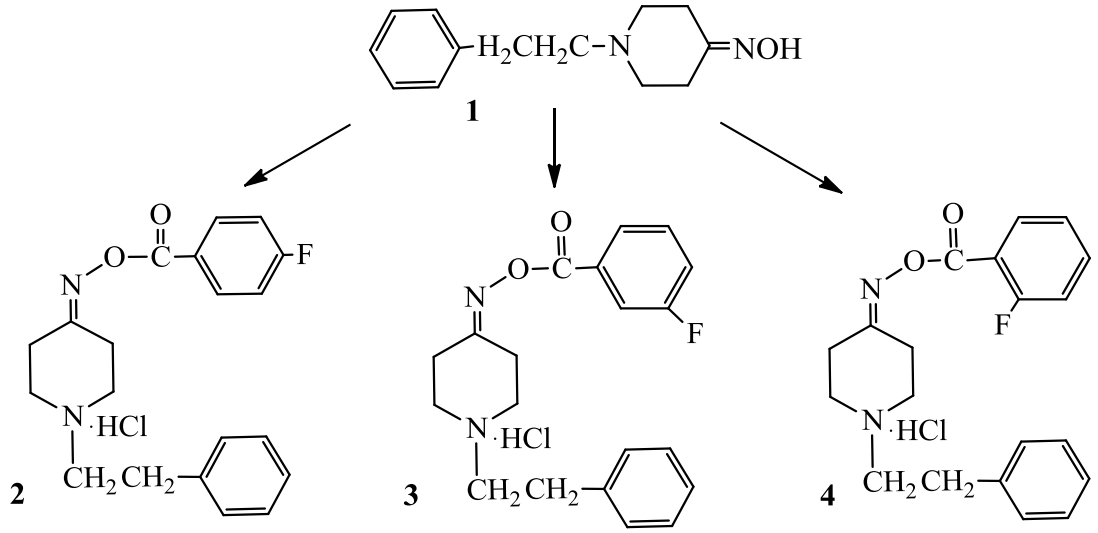
Keywords: *p-fluoro-, m-fluoro-, o-fluorobenzoates of 1-(2-phenylethyl)-4-ketoximpiperidine, synthesis, spectroscopy NMR, anti-microbic activity*

Климатические изменения, загрязнение окружающей среды являются причиной роста числа больных аллергией, туберкулезом и другими инфекционными заболеваниями [1-3]. Кроме того, наблюдается чрезвычайная приспособляемость патогенных организмов к лекарственным препаратам. Поэтому исследования по поиску и созданию новых эффективных противоинфекционных средств относятся к числу приоритетных во многих странах. Особый вклад в решение этой задачи принадлежит тонкому органическому синтезу потенциальных БАВ. Благодаря высокой физиологической активности азацикланов, в частности, производных пиперидина, эти исследования имеют статус чрезвычайно востребованных.

В лаборатории химии синтетических и природных лекарственных веществ Института химических наук им. А.Б. Бектурова наиболее перспективные соединения-лидеры выявлены в ряду N-алкоксиалкил, N-фенилэтил производных пиперидина [4-8]. Оксимы пиперидонов-4 и их производные перспективны для поиска новых биологически активных препаратов широкого спектра действия [9-11].

Задачей настоящей работы является синтез фторсодержащих бензойных эфиров оксима 1-(2-фенилэтил)пиперидона-4.

Известна противонаркоманийная активность бензойного эфира пиперидинсодержащего оксима [10]. Интересно будет выяснить, ***реализуется ли*** «антимикробный потенциал» фтора и ***как именно*** в целевых молекулах? Ацилирование оксима (**1**) пара-, мета- и орто-фторбензоилхлоридом проводят в абсолютном диоксане при нагревании при соотношении оксим: ацилирующий агент=1:1,5.



Полученные гидрохлориды сложных аминоэфиров (**2-3**) представляют собой белые кристаллические вещества. Выходы, физико-химические характеристики полученных фторбензоатов (**2-4**) представлены в таблице 1.

Структуры 2-4 подтверждены данными ИК спектроскопии и спектроскопии ЯМР ^{13}C. В ИК спектрах сложных эфиров наблюдаются интенсивные полосы поглощения при 1748-1760 см$^{-1}$, характерные валентным колебаниям сложноэфирных карбонилов, а также присутствуют полосы поглощения C=N группы (1610-1638 см$^{-1}$).

Таблица 1 - Выходы и физико-химические характеристики фторбензойных эфиров оксима 1-(2-фенилэтил)пиперидона-4 **(2-4)**

Соединение	Выход, %	R_f	Т.пл., ^oC	ИК спектр, $см^{-1}$		Брутто-формула
				C=N	C=O сл.эф.	
2	75,5	0,95	175-177	1638	1758	$C_{20}H_{22}N_2O_2FCl$
3	40,7	0,94	170-172	1615	1760	$C_{20}H_{22}N_2O_2FCl$
4	71,1	0,92	158-160	1610	1748	$C_{20}H_{22}N_2O_2FCl$

Исследование биологической активности

Гидрохлорид 1-(2-фенилэтил)-*п*-фторбензоилоксикетоксимпиперидина (2, шифр ПИП-41), гидрохлорид 1-(2-фенилэтил)-(*м*-фтор)-бензоилоксикетоксимпиперидина (3, шифр ПИП-42), гидрохлорид 1-(2-фенилэтил)- *о*-фторбензоилоксикетоксимпиперидина (4, шифр ПИП-57), были изучены на антимикробную активность в лаборатории микробиологии АО «Научный центр противоинфекционных препаратов». Результаты биологических испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Данные по антимикробной активности ПИП-41, ПИП-42, ПИП-57

Штамм / Шифр соединения	МИК, мкг/мл						
	Escherichia coli ATCC 25922	*Escherichia coli* ATCC-BAA-196	*Klebsiella pneumonia* ATCC 10031	*Klebsiella pneumonia* ATCC 700603	*Staphylococcus aureus* ATCC 6538-P	*Staphylococcus aureus* ATCC-BAA-39	*Candida albicans* ATCC 10231
2, ПИП-41	2000	НА	2000	НА	2000	2000	2000
3, ПИП-42	НА	2000	2000	НА	НА	НА	НА
4, ПИП-57	2000	2000	2000	НА	2000	2000	500
Примечание: «НА» – в концентрациях до 2000 мкг/мл не обладает антимикробной активностью.							

ПИП-57 обладает антимикробной активностью к 6-ти взятым в эксперимент штаммам микроорганизмов, в частности, в отношении музейных штаммов *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* ATCC-BAA-196, *Klebsiella pneumonia* ATCC 10031, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-P, *Staphylococcus aureus* ATCC-BAA-39 в МИК 2000 мкг/мл, а в в отношении *Candida albicans* ATCC 10231 в концентрации МИК 500 мкг/мл. **ПИП-41**

обладает антимикробной активностью к 5-ти взятым в эксперимент штаммам микроорганизмов в отношении музейных штаммов: *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumonia* ATCC 10031, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-P, *Staphylococcus aureus* ATCC-BAA-39 *Candida albicans* ATCC 10231 в МИК 2000 мкг/мл. **ПИП-42** проявляет антимикробную активность только в отношении к двум музейным штаммам микроорганизмов: *Escherichia coli* ATCC-BAA-196, *Klebsiella pneumonia* ATCC 10031, в МИК 2000 мкг/мл.

Таким образом, можно заключить, что синтезированные в рамках настоящей работы фторбензоаты пиперидинового ряда проявляют в той или иной степени антимикробную активность и являются перспективным классом соединений в поиске и разработке противоинфекционных препаратов.

Экспериментальная химическая часть

Ход реакции и индивидуальность соединений контролируют методом ТСХ на окиси алюминия III степени активности с проявлением пятен парами йода. ИК спектры записаны на спектрометре «Nicolet 5700», спектры ЯМР ^{13}C - JNM-ECA400 фирмы «JEOL» (100.8 МГц) в $CDCl_3$, внутренний стандарт – ГМДС.

Гидрохлорид n-фторбензоата 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-кетоксима (2).

При комнатной температуре раствор 1,6 мл (0,0135 моль) *n*-фторбензоилхлорида в абсолютном диоксане медленно прикапывают к раствору 2 г (0,009 моль) оксима 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-она (**1**) при перемешивании. При этом наблюдается разогревание реакционной смеси и образование белого осадка. Смесь выдерживают 24 ч при комнатной температуре. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают диэтиловым эфиром, затем перекристаллизовывают из изопропанола. Получают 2,56 г (75,5% от теоретического) гидрохлорида *n*-фторбензоата 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-кетоксима (**2**) с т.пл. 175-177 ^{0}C, R_f 0,95 (Al_2O_3, элюент – бензол:диоксан – 4:1).

Найдено, %: C 64,95; H 5,45. $C_{20}H_{22}N_2O_2FCl$.

Вычислено, %: C 63,74; H 5,88.

Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м.д: 50,64-49,73 ($C_{2,6}$); 27,93-23,93 ($C_{3,5}$); 164,66 (C_4); 162,45 (C=O); 125,48, 132,83, 118,78, 167,17 (*пара*-фтор-C_6H_4); 56,27, 30,06 ($\underline{C}H_2\underline{C}H_2Ph$); 127,34-137,61 (Ph).

Гидрохлорид м-фторбензоата 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-кетоксима (**3**). Смешивают раствор 2 г (0,009 моль) оксима 1-(2-фенилэтил)-пиперидин-4-она (**1**) в абсолютном диоксане с раствором 1,67 мл (0,0135 моль) *м*-фторбензоилхлорида в абсолютном диоксане при комнатной температуре. При этом наблюдается незначительное разогревание реакционной смеси и образование белого осадка. Смесь оставляют на ночь. Ход реакции контролируют по ТСХ. Выпавший белый осадок отфильтровывают, промывают диэтиловым эфиром, перекристаллизовывают из изопропанола. Получают 1,38 г (40,7% от теоретического) гидрохлорида *м*-фторбензоата 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-кетоксима (**3**) с т.пл. 170-172^{0}C, R_f 0,94 (Al_2O_3, элюент – бензол:диоксан – 4:1).

Найдено, %: C 63,89; H 5,96. $C_{20}H_{22}N_2O_2FCl$.

Вычислено, %: C 63,74; H 5,88.

Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м.д: 50,67-49,92 ($C_{2,6}$); 27,97-24,02 ($C_{3,5}$); 162,26 (C_4); 162,31 (C=O); 131,12, 118,37- 131,73, 163,26 (*мета*-фтор-C_6H_4); 56,30, 30,13 ($\underline{C}H_2\underline{C}H_2Ph$); 127,34-137,83 (Ph).

Гидрохлорид о-фторбензоата 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-кетоксима (**4**). 2 г (0,009 моль) Оксима 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-она (**1**) растворяют в небольшом количестве

абсолютного диоксана, затем к этому раствору медленно при перемешивании прикапывают раствор 1,64 мл (0,0135 моль) *о*-фторбензоилхлорида в абсолютном диоксане. При этом наблюдается разогревание реакционной смеси и образование белого осадка. Реакционную смесь выдерживают 48 ч при комнатной температуре. Ход реакции контролируют по ТСХ. К реакционной смеси добавляют диэтиловый эфир, затем выпавший осадок отфильтровывают, перекристаллизовывают из изопропилового спирта. Получают 2,41 г (71,09 % от теоретического) гидрохлорида *о*-фторбензоата 1-(2-фенилэтил)пиперидин-4-кетоксима (**4**) с т.пл. 158-160 ^{0}C, R_f 0,92 (Al_2O_3, элюент - бензол:диоксан - 4:1).

Найдено, %: C 64,17; H 5,53. $C_{20}H_{22}N_2O_2FCl$.

Вычислено, %: C 63,74; H 5,88.

Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м.д: 50,63-49,54 ($C_{2,6}$); 27,92-24,10 ($C_{3,5}$); 163,09 (C_4); 161,27 (C=O); 125,50, 117,83-136,32, 162,73 (*орто*-фтор-C_6H_4); 56,25, 30,04 ($\underline{C}H_2\underline{C}H_2Ph$); 127,34-137,59 (Ph).

Экспериментальная биологическая часть

Соединения под лабораторными шифрами ПИП-41, ПИП-42, ПИП-57 изучены на противомикробную активность *in vitro* в отношении музейных штаммов микроорганизмов: *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* ATCC-BAA-196, *Klebsiella pneumonia* ATCC 10031, *Klebsiella pneumonia* ATCC 700603, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538-P, *Staphylococcus aureus* ATCC-BAA-39, *Candida albicans* ATCC 10231.

Модель исследования [12] включает необходимый минимум тестов с различной степенью чувствительности, которые могут дать достоверную и объективную информацию о наличии антибактериальных свойств у заявляемого соединения *in vitro*. Исследования проводятся в соответствии с действующими на территории Казахстана методическими рекомендациями и нормативными документами, утвержденными Государственным Фармакологическим комитетом РК [13].

Перед началом эксперимента микроорганизмы подвергают реактивации (оживлению) с последующим субкультивированием. Для определения жизнеспособности микроорганизмов используют ***метод Коха***. Установлено, что все штаммы обладают хорошей жизнеспособностью, превышающей 10^{11} КОЕ/мл.

Оценку минимальной ингибирующей концентрации (МИК) в отношении микроорганизмов проводят по общепринятому ***методу двукратных серийных разведений в агаре Мюллера-Хинтона***. Для приготовления базовых растворов ПИП-41, ПИП-42, ПИП-57 в концентрации 4000 мкг/мл, навеску 0,2 г растворяют в 50 мл 0,9 %-ного раствора хлорида натрия. Далее готовят двукратные серийные разведения от 2000 мкг/мл до 2 мкг/мл (2000 мкг/мл, 1000 мкг/мл, 500 мкг/мл, 250 мкг/мл, 125 мкг/мл, 63 мкг/мл, 31 мкг/мл, 16 мкг/мл, 8 мкг/мл, 4 мкг/мл, 2 мкг/мл). В приготовленные растворы вносят свежеприготовленную суспензию микроорганизма в концентрации 10^6 КОЕ/мл. Контролем служит пробирка, содержащая питательную среду с тестируемым штаммом. Посевы инкубируют в термостате при 37 °С в течение 18-24 ч. Затем с каждого разведения производится высев на чашки Петри, содержащие агар Мюллера-Хинтона. Чашки Петри с посевами инкубируют при 37 °С в течение 18-24 ч. МИК определяют по наименьшей концентрации ПИП-41, ПИП-42, ПИП-57, которая подавляет видимый рост тестируемого микроорганизма. В контроле наблюдается обильный рост штаммов.

Литература:

1. Antimicrobial resistance surveillance in Europe 2012. Annual Report of the European Antimicrobial Resistance Surveillance Network (EARS-Net). European Centre for Disease Prevention and Control.: – Stockholm, 2013.– P.208.

2. Сидоренко С.В. Клиническое значение антибиотикорезистентности грамположительных микроорганизмов // Инфекции и антимикробная терапия. – 2003. – Т.5. – № 2. – С. 74–82.

3. Bradley S. Staphylococcus aureus infections and antibiotic resistance in older adults // Clinic. Infect. Diseas. –2002. –Vol.34. – № 2.– P. 211–216.

4. Пралиев К.Д. С- и N- замещенные моно- и бициклические пиперидины: синтез, стереохимия, превращения и свойства. Новые синтетические анальгетики и анестетики // Азотистые гетероциклы и алкалоиды. Матер. Первой Междунар.конф. – Москва, 9-12 октября 2001.– С. 130–138.

5. Ю В.К., Пралиев К.Д., Фомичева Е.Е., Шин С.Н. 1-Алкоксиалкил-4-арилэтинилпиперидины // Изв. НТО КАХАК. – 1998. – №1. – С. 91–97.

6. Ю В.К., Салита Т.А., Кораблев М.В., Курбат Н.М. Синтез 1-(2-этоксиэтил)-4-фенилэтинил-4-оксипиперидина и их сложных эфиров. Биологическое действие сложных эфиров //Биологически активные вещества. –1989.– Часть I. – С. 79–88.

7. Амантаева А.К., ПралиевС.Ж., Ахметова Г. С., Пралиев К.Д., Ю В.К. 1-(3-Этоксипропил)-4-фенилэтинил-4-гидрокси-(ацилокси-)пиперидины: синтез и свойства //Хим. журн. Казахстана.– 2005.– №2.– С. 134−140.

8. Пралиев К.Д., Исин Ж.И., Ю В.К. 1-(2-этоксиэтил)-4-этинил-4-бензоилоксипиперидина, обладающий местноанестезирующей активностью (КАЗКАИН) // Пат. РФ №1704415. – Опубл. 08.07.96.

9. Науырызова Б.Ж., Баймурзина М.А., Поплавская И.А., Пралиев К.Д. Синтез оксимов и их производных на основе простых эфиров 1-(2-этоксиэтил)-4-ацетил-4-гидроксипиперидина // Изв. НАН РК, Серия хим. – 2003.– №2. – С. 3–10.

10. Шаркова Л.М., Андронова Л.М., Загоревский В.А., Барков Н.К.Хлоргидрат О-бензоилоксима1,2,5-триметилпиперидона-4, обладающий антагонистической активностью по отношению к морфину, промедолу и этанолу // Пат. №1220298 СССР.– Опубл. 25.07.84.– Бюл. №7.

11. Пралиев К.Д., Ю В. К., Ахметова Г. С. Синтез некоторых оксимовпиперидиновогоряда // Изв. МОН РК, НАН РК, Серия хим. – 2000.– № 1.– С. 96–101.

12. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ, Минздрав РФ, «ИИА Ремедиум». – Москва, 2000. – С. 679.

13. Доклинические испытания лекарственных средств (Методические рекомендации). Фарм. Гос. Ком. РК.– Алматы, 1997. – С. 22.

Поступила 1сентября 2015 г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 551.501:629.195.1

ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ АТМОСФЕРЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ

Ахмеджанов А.Х., Караданов Т.К.
ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО НЦКИТ, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: model_lab@mail.ru

Исследование свойств региональных атмосферных процессов на территории Казахстана является актуальной задачей. Рассмотрены особенности спутниковых приборов, определяющих значения аэрозольной оптической толщины атмосферы для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра. Получены значения аэрозольной оптической толщины атмосферы по спутниковым данным для территории Западного Казахстана. Выявлены особенности распределений значений аэрозольной оптической толщины атмосферы по спутниковым данным для территории Западного Казахстана за 10 летний период. Эффективность работы продемонстрирована на примере обработки данных многозонального сканера «MODIS», установленного на платформе спутника «Terra».

Ключевые слова: *оптическая толщина атмосферы, атмосферный аэрозоль, перенос излучения, индикатриса рассеяния, дистанционное зондирование Земли*

Қазақстан аумағындағы жергілікті атмосфералық процесстердің қасиеттерін зерттеу өзекті мәселе болып келеді. Көрінетін және жақын инфрақызыл спектрлік диапазонда аэрозольдік атмосфераның оптикалық қалыңдығы мәндерін анықтау спутниктік құралдарының ерекшеліктері. Батыс Қазақстан территориясы үшін ғарыштық мәліметтер аэрозолдық оптикалық атмосфераның қалындығының маңыздылығы алынды. 10 жыл кезеңге арналған Батыс Қазақстан үшін спутниктік деректерден аэрозольдік атмосфераның оптикалық қалыңдығы құндылықтарды бөлу ерекшеліктері. Ұсынылған әдістің тиімділігі «Терра» спутнигі платформасында қондырылған «MODIS» көпзональды сканерінің мәліметтерді өңдеуін мысалға келтіріп көрсетілген.

Тірек сөздер: *атмосфераның оптикалық қалыңдығы, атмосфералық аэрозоль, сәулеленудің тасымалы, шашыраудың көрсеткіштері, жерді қашықтықтан зондылау*

The study of the properties of regional atmospheric processes on the territory of Kazakhstan is an urgent task. The features of satellite instruments that determine the values of aerosol optical thickness of the atmosphere in the visible and near infrared spectral ranges. The obtained values of the aerosol optical thickness of the atmosphere are based on satellite data for the territory of Western Kazakhstan. The peculiarities of the distribution of values of aerosol optical thickness of the atmosphere from satellite data for the West Kazakhstan for 10 years period. The efficiency is demonstrated on the example of processing of multispectral scanner data "MODIS", established on the platform of the satellite "Terra".

Keywords: *optical thickness, atmospheric aerosol, radiative transfer, scattering indicatrices, remote sensing*

В условиях актуальности проблемы климатических изменений необходимо получение данных о вариациях аэрозоля в различных регионах планеты. Особое значение имеют относительно исследования в районах основных источников генерации природного и антропогенного аэрозоля. Очень важным являются многолетние спектральные фотометрические измерения солнечной радиации. В этих наблюдениях определяется спектральная аэрозольная оптическая толщина атмосферы (АОТ). Этот параметр характеризует ослабление солнечного излучения аэрозольными частицами в атмосфере на разных длинах волн. В настоящее время NASA по проекту AERONET располагает широкой сетью солнечных фотометров, расположенных в различных точках мира. Результаты спутниковых наблюдений над территорией суши позволяют получить значения аэрозольной оптической толщины атмосферы на длине волны 0,55 мкм, что позволяет описать поведение АОТ в спектральном диапазоне, ограниченном 0,5–0,68 мкм [1]. В трудах ИОА СО РАН проанализированы многолетние тенденции изменения оптических и аэрозольных характеристик атмосферы (АОТ) для условий Томска и некоторых других районов восточной части России [2,3]. На основе экспедиционных исследований показано, что весенняя атмосфера в Приморье и Японском море отличается двукратным превышением аэрозольного замутнения в сравнении с другими (морскими и континентальными) районами умеренных широт. Высокие значения АОТ наблюдаются во всем диапазоне спектра (0.3–2.14 мкм) и обусловлены совокупным влиянием выносов аэрозоля (пылевого, антропогенного, дымового) из соседних районов континента [4,5]. Данные аэрозольной оптической толщины атмосферы для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра фиксируются следующими спутниковыми сенсорами Aerosols Express, MAPSS: Multi-sensor Aerosol Products Sampling System, AeroStat: Aerosol data measured by satellites and Aeronet stations, Aerosol Optical Thickness Measurement and Model Comparison; MISR; Aqua/AIRS Global; Terra and Aqua MODIS и другие.

С помощью спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) проводятся измерения аэрозольной оптической толщины атмосферы. Он состоит в комплекте приборов на борту американских спутников серии EOS (Terra (EOS AM-1) и Aqua (EOS PM-1)) [6]. Этот спектрорадиометр работает с 2000 года. Общий ряд данных с 2000 года по 2015 год. MODIS является сканирующим спектрорадиометром среднего разрешения. Сам MODIS состоит из двух сканирующих спектрометров. MODIS-N ведет съемку в надир, а ось съемки MODIS-T может быть отклонена. 36 спектральных зон MODIS охватывают диапазон с длинами волн от 0,4 до 14,4 мкм. Съемка в зонах 620-670 и 841-876 нм проводится с разрешением 250 м. В пяти зонах видимого и ближнего инфракрасного диапазона с разрешением 500 м, а в остальных в диапазоне от 0,4 до 14,4 мкм – 1000 м. Траектория движения носителя и угол обзора системы в 110° при ширине полосы обзора 2330 км позволяют MODIS за сутки получать изображение почти всей поверхности Земли, за исключением узких промежутков между полосами сканирования в низких широтах. Концентрация и оптические свойства аэрозолей исследуются в видимой зоне спектра, которые получены в дневное время и позволяют наблюдать районы поступления в атмосферу взвесей природного и антропогенного происхождения.

Наличие видимой спектральной зоны в системе MODIS впервые позволило получать параметры оптической плотности аэрозолей над поверхностью суши. Алгоритм определения оптической плотности аэрозолей использует зоны MODIS 1-7 и 20, а также маску контуров облачного покрова; кроме того, используются результаты наблюдений параметров аэрозолей

с поверхности Земли для создания динамических моделей их поведения. Зависимость оптической толщины атмосферы от длины волны на основе функции прозрачности атмосферы по документации MODIS для среднеширотных условий удовлетворяет средним значениям наземных измерений. Первым этапом является расчет интенсивности уходящего излучения, фиксируемого на спутнике. Космическое изображение, обработанное с применением программного пакета ENVI, конвертируется в ascii таблицу и с помощью калибровочных коэффициентов пересчитывается в матрицу. В этой матрице каждому пикселю соответствует значение интенсивности уходящего излучения с соответствующей размерностью (вт/м^2·мкм·ср).

MISR позволяет определять отражательные характеристики объектов в девяти разных направлениях [7]. Это позволяет получать данные в двух режимах пространственного разрешения. В детальном (Local) режиме отдельные источники размером 300 х 360 км наблюдаются с максимальным разрешением 275 м всеми камерами. Пропускная способность радиоканала позволяет передать информацию в среднем всего для шести таких участков в день. Остальные данные передаются в обзорном (Global) режиме, при котором Земля наблюдается с более низким разрешением. Большинство съемочных инструментов, устанавливаемых на спутниках, ведут наблюдения вертикально.

Для изучения аэрозолей, облачного покрова, водных поверхностей, растительности, горных пород необходимо знать количество солнечного света, рассеиваемого или отражаемого в естественных условиях по разным направлениям. MISR был предназначен специально для решения задач такого типа. Он состоит из 9 камер, ведущих съемку по 9 разным направлениям: в надир, а также с отклонением под разными углами вперед и назад по направлению полета. Камеры позволяют получать изображения в четырех спектральных диапазонах (голубом, зеленом, красном и ближнем инфракрасном) со средним и низким пространственным разрешением. Изменение отражения света при разных углах наблюдения позволяет распознавать различные типы атмосферных аэрозолей, форму облаков, покровы поверхности суши. Регулярное наблюдение этих объектов позволяет проследить месячные, сезонные и долговременные тенденции их изменений. При привлечении стереоскопических методов анализа изображений возможно наблюдение пространственных моделей местности и структур облачности. Использование наблюдений в разных направлениях позволяет более точно оценивать общее количество солнечной радиации, отраженной различными участками земной поверхности.

Обработку данных и создание производных изображений осуществляет Центр атмосферных данных NASA Langley Atmospheric Sciences Data Center. MISR обеспечивает получение глобальных карт альбедо поверхности Земли, позволяет изучать в глобальном масштабе различные типы облачных полей при классификации их по неоднородности пространственного распределения и по различиям в высотах верхней границы, получать значения амплитуд и пространственно-временной изменчивости поглощения и рассеяния солнечного света частицами тропосферного аэрозоля. При этом обеспечивается также получение информации об источниках и стоках аэрозольных частиц в атмосфере, формирующих глобальный баланс естественного и антропогенного аэрозоля, знание характеристик которого требуется для исследования не только глобального климата, но для проведения текущей атмосферной коррекции.

С прибора OMI (Ozone Monitoring Instrument) [8], который был создан Голландским аэрокосмическим агентством, Финским метеорологическим институтом и NASA, по

территории Казахстана имеются несколько полос данных АОТ атмосферы. Этот прибор в 2004 году сменил на околоземной орбите спутник TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). OMI спектрометр, измеряющий количество солнечного света, рассеянного в атмосфере и по поверхности Земли, что позволяет оценить количество озона на разной высоте. OMI обладает более широким спектральным и пространственным разрешением. Он способен осуществлять ежедневный глобальный мониторинг состояния атмосферы в диапазоне 270-500 nm длины волны и спектральным разрешением 0.5 нм с пространственным разрешением 13x24 км на один пиксель. Частота съёмки – 1 раз в сутки. Имеющийся объем данных аэрозольной оптической толщины по длинам волн 342.5, 388.0, 442.0, 463,0 и 483.5 нм с октября 2004 года по настоящее время. В каждом случае определяются координаты участков с данными.

Оптическая толщина среды характеризует ослабление оптического излучения в среде за счет совместного действия поглощения света и рассеяния света. Учитывая различие в рассеянии прямой и рассеянной радиации, удобно разделить последние члены в уравнениях переноса излучения в атмосфере на две части – на однократное и многократное рассеяние. Наземные экспериментальные работы показали, что в полном рассеянии солнечного излучения большую часть составляет однократное рассеяние (свыше 80 %).

Неоднородное дифференциальное уравнение переноса рассеянной солнечной радиации без учета поглощения и многократного рассеяния записывается в виде

$$\frac{dJ_\lambda^\uparrow}{d\tau_\lambda} = \frac{J_\lambda^\uparrow}{\cos\vartheta} + \frac{\chi_{\lambda c}}{\cos\vartheta} S_\lambda e^{-\frac{(\tau_0-\tau_\lambda)}{\cos\vartheta 0}},$$

где средневзвешенная индикатриса, учитывающая рэлеевское и аэрозольное рассеяние будет иметь следующий вид

$$\chi_{\lambda c} = \chi_{\lambda\rho}\frac{d\tau_{\lambda\rho}}{d\tau_\lambda} + \chi_{\lambda a}\frac{d\tau_{\lambda a}}{d\tau_\lambda}.$$

При условии однократного рассеяния излучения в атмосфере введем средневзвешенную индикатрису, учитывающую рэлеевское и аэрозольное рассеяние. Средневзвешенная индикатриса в нижних слоях атмосферы в основном определяется аэрозольной составляющей, которая оказывается намного больше рэлеевской. С ростом высоты концентрация аэрозолей в атмосфере убывает и увеличивается роль рэлеевского рассеяния. Однако данные наблюдений показывают, что и в верхних слоях атмосферы встречаются замутненные слои, в которых индикатриса рассеяния сильно вытянута вперед. Вообще изменчивость индикатрисы и оптических толщин наряду с чисто математическими трудностями приводит к практической невозможности корректного решения уравнений переноса рассеянной радиации. Изменение индикатрисы с высотой не очень сильно влияет на поток рассеянной радиации. Поэтому реальную средневзвешенную индикатрису можно заменить осредненным по высоте значением $\chi_{\lambda cp}$. В этом случае неоднородное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами решается методом Лагранжа.

Его решение имеет вид

$$J_\lambda^\uparrow = \frac{A_\lambda}{\pi}\left[S_{\lambda 0} cos\vartheta_0 e^{-\tau_\lambda sec\vartheta_\theta} + D_\lambda(0)\right]e^{-\tau_\lambda sec\vartheta} + \frac{S_{\lambda 0}\chi_{\lambda cp} sec\vartheta}{sec\vartheta + sec\vartheta_0}\left[1 - e^{-\tau_\lambda(sec\vartheta_0 - sec\vartheta)}\right],$$

$$J_{\lambda}^{\downarrow} = \frac{S_{\lambda 0}\chi_{\lambda cp} sec\vartheta}{sec\vartheta_0 - sec\vartheta}\left[1 - e^{-\tau_{\lambda} sec\vartheta_0}\right],$$

$$D_{\lambda}(0) = 2\pi S_{\lambda 0}\chi_{\lambda cp}\left[1 - e^{-\tau_{\lambda} sec\vartheta_0}\right]\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{sin\,\vartheta}{sec\vartheta_0 - sec\vartheta} d\vartheta,$$

где $J_{\lambda}^{\uparrow}$ и $J_{\lambda}^{\downarrow}$ – восходящее и нисходящее излучения, A_{λ}– альбедо земной поверхности, $S_{\lambda 0}$– спектральная солнечная постоянная, ϑ_0– угол Солнца, τ_{λ}– оптическая толщина атмосферы, ϑ – угол зондирования.

Эти соотношения дают спектральную интенсивность восходящей и нисходящей рассеянной радиации на произвольном уровне τ_{λ}(z) в безоблачной атмосфере. Интенсивность рассеянной радиации на рассматриваемом уровне складывается из интенсивности лучей, рассеянных всеми вышележащими или нижележащими слоями. Пологая, что $J_{\lambda}^{\uparrow}$– измерямая на спутнике интенсивность отраженного излучения с выбранного участка земной поверхности с известным значением альбедо A_{λ}, а $\chi_{к}$– усредненное значение индикатрисы для однократного рассеяния можно определить оптическую толщину атмосферы:

$$\tau_{\lambda} = \left(\left(\sqrt{b^2 - 4ac}\right) - b\right)/2a,$$

где $a = A_{\lambda}\left[\frac{1}{\pi} - \chi_{\lambda}(1 + cos\vartheta_0 In(cos\vartheta - cos\vartheta_0))\right],$

$$b = \chi_{к}\left\{\frac{sec\vartheta_0 - sec\vartheta}{sec\vartheta_0 + sec\vartheta} sec\vartheta_0 + A_{\lambda}\left[\frac{1}{\pi} - 2cos\vartheta_0(1 + cos\vartheta_0 In(cos\vartheta - cos\vartheta_0))\right]\right.$$

При многократном рассеянии излучения в атмосфере поступивший сигнал на спутник $J_{сп\lambda}^{\uparrow}$ формируется за счет отраженного от земной поверхности сигнала и рассеянного в атмосфере излучения.

$$J_{сп\lambda}^{\uparrow} = \frac{A_{\lambda}}{\pi}\left(S_{\lambda}^{\downarrow} cos\vartheta_0 + J_{атм\lambda}^{\downarrow}\right) \cdot e^{\frac{\tau_{\lambda}}{cos\vartheta}} + J_{атм\lambda}^{\uparrow},$$

где $S_{\lambda}^{\downarrow}$ – спектральная солнечная постоянная, $J_{атм\lambda}^{\downarrow}$– рассеянное вниз излучение, $J_{атм\lambda}^{\uparrow}$– рассеянное вверх излучение.

Если подобрать такой участок водной поверхности, где альбедо стремиться к нулю, то можно определить $J_{атм\lambda}^{\uparrow}$. Для нахождения значения $J_{атм\lambda}^{\downarrow}$ рассмотрим соотношения прямого и рассеянного излучений, попадающих на земную поверхность.

В среднем для оптического диапазона (около 500 нм) было принято следующее соотношение

$$J_{атм\lambda}^{\downarrow} = 0{,}2\, E_{\lambda}^{\downarrow}.$$

В результате получено следующее выражение для приближенного расчета оптической толщины атмосферы

$$\tau_\lambda = -cos\vartheta In\left[\frac{J^{\uparrow}_{\text{сп}\lambda} - J^{\uparrow}_{\text{атм}\lambda}}{\frac{A_\lambda}{\pi}E_\lambda(0.2 + cos\vartheta_0)}\right].$$

Для расчета оптической толщины атмосферы применялась спектральная функция прозрачности атмосферы из документации MODIS для среднеширотных условий. Значения аэрозольной оптической толщины связано с прямой солнечной радиацией, пропусканием излучения с учетом поглощения озоном (рэлеевского рассеяния); относительным поглощением, обусловленным водяным паром; и внеатмосферной солнечной радиации.

Значения АОТ, характеризующие обусловленное аэрозолем ослабление прямой солнечной радиации всей толщей атмосферы, рассчитаны по формуле [9]:

$$\tau_a = 1/\{m' ln[I/(T_o - a_w)I_o]\}$$

где τ_a - АОТ; m' - воздушная масса, рассчитанная с учетом поправки на наблюдаемое атмосферное давление; I - прямая солнечная радиация, мДж/(м^{2}ч); $\boldsymbol{T_o}$-пропускание с учетом поглощения озоном (рэлеевского рассеяния); a_w - относительное поглощение, обусловленное водяным паром; I_0 -внеатмосферная солнечная радиация.

По данным MISR были определены величины аэрозольной оптической толщины по 5 длинам волн 443, 555, 670, 865 нм по территории Казахстана. Имеющийся объем данных с февраля 2000 года по ноябрь 2013 года. Получен набор предварительно обработанных матриц (ascii-file) с координатной привязкой по территории Казахстана, соответствующим каналам видимого диапазона спектра 443 нм, 555 нм, 670 нм и ближнего инфракрасного участка спектра – 865 нм. Полученные значения могут быть использованы в оптической и ближней ИК областях спектра для определения величины альбедо однократного рассеяния.

Расчетный участок территории Западного Казахстана с координатами 50.5-54.5 град. в.д.; 45.5-49.5 град. с.ш. представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Выбранный участок территории Западного Казахстана

Данные АОТ (длина волны 555 нм) со спектрорадиометра MISR по выбранному участку за июнь-август 2013 года представлены на рисунке 2а. Расчетные данные АОТ за этот же период времени показаны на рисунке 2б. На рисунках 2а и 2б наблюдается удовлетворительное соответствие. Статистический анализ значений АОТ в 100 точках выбранного участка для длины волны 550 нм показал: min 0.11, max - 0.532, среднее - 0.231, среднеквадратичное отклонение - 0.053.

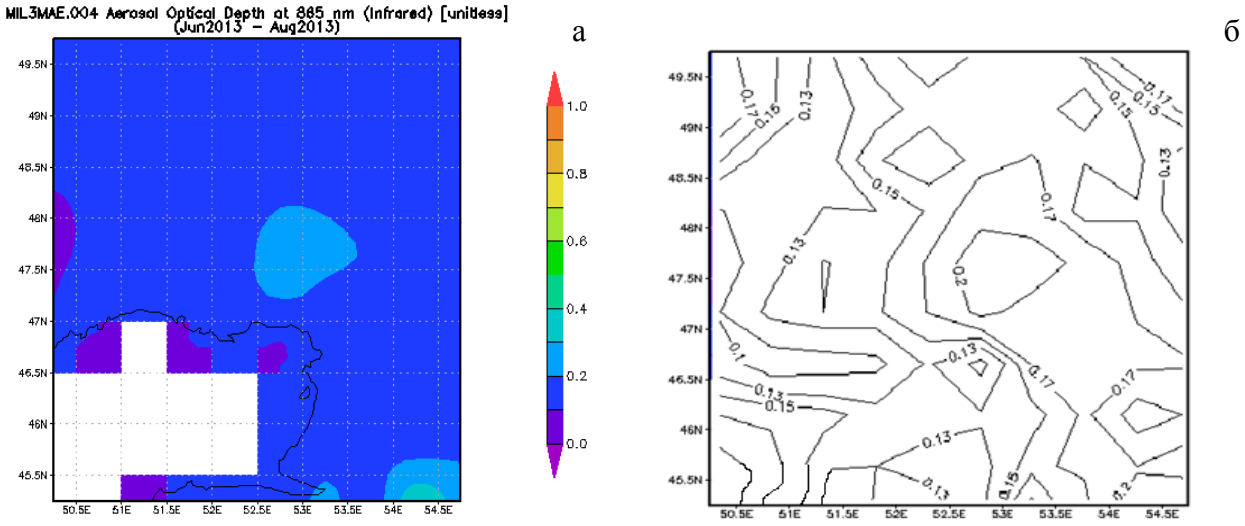


Рисунок 2 – Данные АОТ (длины волн 555 нм) со сканера MISR (а) и соответствующие расчетные данные (б) по территории Западного Казахстана за июнь-август 2013 года

Были проведены расчеты на выбранном участке по длинам волн видимого участка спектра 443 нм, 555 нм, 670 нм и ближнего инфракрасного участка спектра 865 нм за зимние и летние периоды с 2004 года по 2013 год. Результаты этих расчетов представлены на рисунках 3-4.

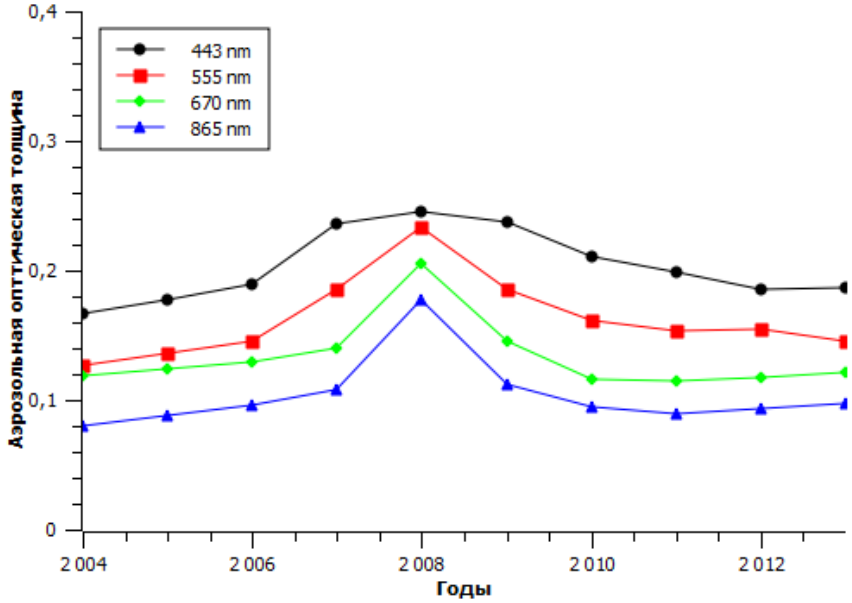


Рисунок 3 – Изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы за зимние периоды в 2004-2013 годы на территории Западного Казахстана

За зимние периоды в 2004-2013 годы анализ изменений аэрозольной оптической толщины атмосферы на территории Западного Казахстана показывает превышение среднего значения АОТ в 2008 году в среднем на 30% по всем рассматриваемым длинам волн. Это может быть связано с тем, что по данным Гидрометцентра РФ зима 2007/2008 гг. признана рекордно теплой и малоснежной [10], что означает повышенный аэрозольный фон в атмосфере. На большей части Европы, включая европейскую часть России, аномалии температуры в январе составили +2°…+3°, а в Скандинавии – +5°…+7°.

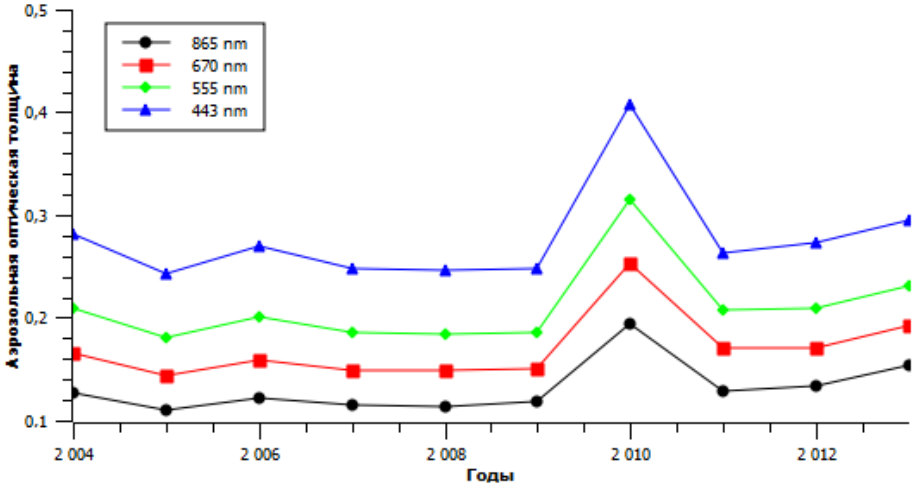


Рисунок 4 – Изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы за летние периоды в 2004-2013 годы на территории Западного Казахстана

За летние периоды в 2004-2013 годы анализ изменений аэрозольной оптической толщины атмосферы на территории Западного Казахстана показывает увеличение среднего значения АОТ в 2010 году в среднем на 40% по всем рассматриваемым длинам волн. Лето 2010 года была признана аномально жаркой [11]. Исследование распределений высоких температур на европейской территории России показало, что северо-восточное побережье Каспийского моря попадало в зону высоких температур [12]. Вследствие повышенного температурного режима происходит усиленное осушение поверхности почв, что приводит к выносу в атмосферу большого количества аэрозоли и увеличению аэрозольной оптической толщины атмосферы.

Литература:

1. Фирсов К.М., Бобров Е.В., Клиточенко И.И. Первые результаты фотометрических измерений аэрозольной оптической толщи и общего влагосодержания над территорией г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 1, Мат. Физ. – 2012. – В. 16. – № 1. – С.107-112.

2. Панченко М.В., Свириденков М.А., Емиленко А.С. и др. Сопоставление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в локальном объеме и на протяженной трассе // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – № 6. – С. 491–496.

3. Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю. и др. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т.22. – №6. – С.566–574.

4. Сакерин С.М., Павлов А.Н., Букин О.А. и др. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне материк-океан (Приморье и Японское море). Часть 1. Вариации

аэрозольной оптической толщи атмосферы и вертикальные профили // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 8. – С. 691–699.

5. Афонин С.В., Энгель М.В., Майор А.Ю. и др. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне материк-океан (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т.23. – №9. – С.811–819.

6. MODIS Web // Moderate Resolution Imagine Spectroradiometer – www.modis.gsfc.nasa.gov

7. MISR Homepage // Multi-Angle Imagine Spectroradiometer – www.misr.jpl.nasa.gov

8. NASA – Ozone Monitoring Instrument (OMI) // Aura: Spacecraft and Instruments – www.nasa.gov/mission_pages/aura/spacecraft/omi.html

9. Галиндо И., Кондратьев К.Я., Зентено Г. Аэрозольная оптическая толщина атмосферы после извержения вулкана Эль-Чичон по данным наблюдений в Мехико и Ванкувере // «Оптика атмосферы и океана», 1996. – Т. 9. – №3. – С.351–356.

10. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды // Гидрометцентр России – www.meteoinfo.ru/

11. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. Причины аномально жаркого лета 2010 года на европейской территории России // Труды Гидрометцентра России. Москва. 2011. – В. 346. – С. 191–205.

12. Miralles D.G., Teuling A.J., van Heerwaarden Ch.C., Vilà-Guerau de Arellan J. Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation – (www.nature.com/ngeo/journal/v7/n5/full/ngeo2141.html)

Поступила 24 июня 2015 г.

УДК 661.183.2

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛОМЫ КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Бектурганов Н.С.[1], Карпов Н.П.[2], Иорданиди Г.К.[3], Омиржанов К.З.[3]
[1]АО «Научно-технологический центр «Парасат», Алматы, Республика Казахстан
[2]ФГУП "Российский научный центр Прикладная химия", Санкт-Петербург, Российская Федерация
[3]ТОО «ТаСКо-Алатау», Алматы, Республика Казахстан
e-mail: tasco.gki@mail.ru

Рассмотрены вопросы, связанные с использованием соломы, как возобновляемого энергоносителя в Казахстане с эколого – экономической точки зрения. Сделана попытка систематизировать основные физико-химические и теплофизические свойства соломы. Обращено внимание на необходимость учёта особенностей соломы при разработке технологий переработки её в топливо и использования его в энергетическом оборудовании.

Ключевые слова: *биомасса, свойства соломы, возобновляемая энергетика, экология, экономика*

Қазақстанда экологиялық-экономикалық тұрғыдан сабанды жаңғыртылатын қуат тасымалдауыш ретінде пайдалануға байланысты мәселелер қарастырылған. Сабанның негізгі физикалық-химиялық және жылу-физикалық қасиеттерін жүйелендіруге талпыныс жасалған. Сабанды отын ретінде қайта өңдеу технологияларын әзірлеу кезінде және оны энергетикалық жабдықта пайдаланудың ерекшеліктерін ескерудің қажеттілігіне назар аударылған.

Тірек сөздер: *биомасса, сабанның қасиеттері, жаңғыртылатын энергетика, экология, экономика*

The research has covered issues connected with the use of straw as a renewable energy carrier in Kazakhstan from an ecological and economic point of view. Its authors have attempted to analyze key physical and chemical as well as thermal properties of straw. Attention has been paid to a need to take into consideration specific features of straw in development of technologies of its processing into fuel and its use in power-generating equipment.

Keywords: *biomass, properties of straw, renewable power engineering, ecology, economy*

В рамках научно – технической программы "Разработка чистых источников энергии Республики Казахстан на 2013 – 2017 годы" в АО «Научно-технический центр «Парасат», ТОО "ТаСКо-Алатау", Республика Казахстан совместно с ФГУП "Российский научный центр Прикладная химия" начаты исследования по проекту "Разработка технологии получения генераторного газа из соломы". Сегодня длившаяся более 50 лет на территории бывшего СССР пауза в использовании технологий газификации низкосортных твёрдых топлив подходит к завершению. Актуальность проведения этих работ очевидна и находится в русле мировых тенденций, относящихся к возобновляемой энергетике. Целесообразность вовлечения соломы в ассортимент энергетических топлив, прежде всего, определяется миллионами тонн этих отходов сельскохозяйственного производства, остающихся на полях после уборки зерновых. Экономические потери и экологический ущерб налицо.

Сельскохозяйственные отходы, в частности – солома могут быть значительным источником топлива для большинства сельских регионов, особенно в регионах с небольшими лесными массивами. Этому способствует ряд экономических и экологических предпосылок, которые будут рассмотрены ниже.

В таблице 1 приведены энергетические потенциалы соломы, влияющие на экономическую целесообразность развития биоэнергетики, в данном случае, - вовлечение соломы в ассортимент возобновляемых энергоносителей [1].

Таблица 1 – Энергетический потенциал соломы

Вид соломы	Энергетический потенциал, млн, тонн		
	Теоретический (реальный)	технический	экономический
Солома зерновых	10,39	5,21	1,34
Солома рапса	1,65	1,15	1,15

Данные по соломе зерновых показывают, что технический и, особенно, экономический потенциал сильно отстаёт от реального и это является стимулом для разработки эффективных технологий по переработке соломы в топливо и оборудования для его энергетического использования.

Рассматривая вопросы газификации, пиролиза и прямого сжигания необходимо иметь в виду, что видов соломы насчитывается около 60, их элементный состав и свойства определяются условиями произрастания (климат, почвы, агротехнические мероприятия и т.д.), соответственно, свойства солом сильно различаются. Ниже представлены диапазоны изменения характеристик соломы, приведённые в работах [1-10]

Химический состав в массовых процентах на сухое вещество: водород – 5,4 ÷ 6,4;

углерод – 45÷ 49; азот – 0,3 ÷1,5; сера – 0,1 ÷ 0,2; хлор – 0,1 ÷ 1,5; кремний – 0,8 ÷ 1,5; алюминий – 0,01 ÷ 0,03; железо – 0,01 ÷ 0, 03; кальций – 0,2 ÷ 0,5; магний – 0,07 ÷ 0,13; натрий – 0,05 ÷0,3; калий – 1,0 ÷ 1,9; фосфор – 0,08 ÷ 0,2;

влажность % масс - 8 ÷ 23; зола % масс – 2÷7.

Насыпная плотность соломы находится в пределах 30 ÷ 40 кг/м³;

Термохимическая устойчивость соломы характеризуется:

- температурой начала деформации размягчения – 735 ÷ 840 ºС;
- температурой размягчения золы 1035 – 1150 ºС;
- температурой расплавления золы – 1175 – 1330 ºС;

В таблице 2 представлены зольность и теплота сгорания соломы.

Анализируя данные, представленные выше, можно отметить, что химический состав, теплота сгорания соломы очень близки к древесине. Однако, есть существенные отличия, которые осложняют разработку технологий переработки соломы в топливо и оборудования для использования её в энергетических целях. Таковыми являются:

1. Низкая насыпная плотность, которая ставит задачу разработки экономически целесообразных решений по логистике. Для сравнения: объемы соломы и угля, равные по энерго содержанию, различаются примерно в 10-20 раз.

С точки зрения конструкций энергетического оборудования, более сложными становятся системы подачи топлива в зону термохимических реакций.

Таблица 2 – Зольность и теплота сгорания соломы различных зерновых культур

Зерновая культура	Зольность на сухую массу, %	Низшая теплота сгорания при влажности 20%
рожь	4,5	13,6
пшеница	6,5	13,8
ячмень	4,5-5,9	13,4
овес	4,9	12,9

Выходом из этих затруднений является гранулирование (пеллетирование) и брикетирование. Хорошим качеством соломы является простота её переработки в топливные брикеты ввиду достаточно большого количества лигнина. Отходы переработки ржи, пшеницы, рапса, кукурузы легко прессуется в брикеты на оборудовании, применяемого при изготовлении древесных брикетов. При этом нет существенных различий от прессованных древесных опилок. Также по внешнему признаку производство брикетов из соломы ничем не отличается от брикетов из опилок. Необходимо также отметить, что в мире по этим вопросам имеются проверенные решения, прежде всего – в Дании. Налаживание производства топливных гранул и брикетов для агропромышленных предприятий позволит снять ответственность за экологическое правонарушение - сжигание отходов на полях. Однако в странах СНГ таких примеров мало и приходится констатировать неподготовленность энергетического рынка к процессам внедрения биомассы в хозяйственную практику вообще и, соломы в частности. Невзирая на обозначенные трудности можно считать, что солома может и должна стать хорошим дополнением к древесным отходам для гранулирования и брикетирования.

2. Определённой неожиданностью оказалось наличие в некоторых видах соломы достаточно большого количества хлора. С точки зрения переработки соломы термохимическим методом (сжигание, все виды пиролиза, газогенерация) существенную проблему представляет достаточно высокое содержание хлора [17]. Он, прежде всего, является источником образования диоксинов, которые являются сильнейшими ядами. Как следствие требуется дополнительное финансирование на поиск путей решения санитарных и экологических проблем. Большое содержание хлора, наблюдающееся в соломе овса, ячменя и рапса, приводит к повышенной коррозии теплообменного оборудования. Причем в «желтой» (свежеубранной) соломе содержание хлора в три-четыре раза больше, чем в «серой» (увядшей) соломе.

При разработке технологии получения генераторного газа обязательной операцией должен быть входной контроль соломы, поступающей на производственную площадку, на содержание хлора. Возможным выходом из этого положения является применение метода термобарохимической деструкции веществ (метод ТБХД). Метод разрабатывается в ФГУП "Российский научный центр "Прикладная химия" совместно с ТОО «ТаСКо-Алатау» и основан на использовании сверхкритических флюидов.

Отметим, что помимо хлора в соломе содержатся нежелательные элементы: азот и калий. Азот увеличивает эмиссию NO_2.

3. Одной из самых больших проблем при термохимической переработке соломы озимой пшеницы, красной канарской травы, отходов переработки зерна, в том числе и в виде гранул, является низкая температура плавления золы, приводящая к образованию золо-шлаковых агломератов, препятствующих горению и нормальной работе оборудования. Температуры размягчения и плавления золы соломы относительно низки из-за высокого содержания щелочных металлов. Как следствие, на низкотемпературных поверхностях могут появляться шлаковые образования.

4. Солому достаточно сложно использовать в виде сырья для прямого сжигания как на этапах сбора, транспортировки и хранения, так и на этапе непосредственного сжигания. Это связано с неоднородностью продукта, малым объемным энерго содержанием, достаточно низкой температурой плавления золы и повышенным содержанием хлора. Выход летучих компонентов при сжигании соломы (около 70%) обусловливает необходимость специальных требований к распределению и смешиванию воздуха, поступающего в зону горения, а также к конструкции топки котла.

Экономический аспект развития биоэнергетики состоит:

*биоэнергия способна заменить углеводородное топливо во многих энергетических отраслях – в производстве тепла, электроэнергии и транспортного топлива. Солома — побочный продукт производства зерна, а значит, относительно дешевый вид топлива, в сравнении с традиционным топливом (газом, углем, мазутом), экономическая выгода очевидна в связи с использованием дешевого сырья [10, 11]. В мире каждый день наращивают темпы использования соломы как биотоплива, в альтернативную энергетику вкладываются большие инвестиции:

- снижение себестоимости продукции;
- экономически эффективное использование растительных отходов;
- экономия бюджетных средств, выделяемых на закупку традиционных топлив;
- создание новых рабочих мест
- реальная возможность торговать квотами на выброс парниковых газов согласно Киотскому протоколу;
- малые сроки окупаемости проектов по созданию производственной инфраструктуры для внедрения в хозяйственную практику.

На сегодняшний день в Казахстане является актуальной задача глубокой переработки отходов зернового производства таких, как солома, лузга и т.д. Из отходов сельскохозяйственного производства можно получать продукты с высокой добавленной стоимостью. Отходы сельскохозяйственного производства – практически невостребованный ресурс. В стране средний объем этих отходов в 2009-2012 г.г. составил 34.314 тыс. тонн, практически используется около 10% всего объема соломы (в основном, в животноводстве, в качестве подстилки скоту или как добавка в корма).

Экологический аспект состоит:

- в прекращении сжигания соломы на полях после уборки зерна, от которого из почвы удаляется гумус;
- в сокращении выбросов вредных продуктов сгорания от сжигания традиционных топлив;
- в уменьшении объёмов парниковых газов.

Вывод. Основным преимуществом использования биомассы вообще и соломы в частности, является, даже не ее очень большой потенциал и малые сроки окупаемости

проектов, а высокий уровень экологичности, благодаря чему она становится экономически наиболее приемлемым возобновляемым источником энергии в большинстве стран мира.

Литература:

1. Матвейчук А.С., Рудавина Е.В., Чернявский Н.В. Комплексное исследование физико–химических и теплотехнических свойств соломы и лузги для разработки требований к энергетическому топливу из отходов биомассы //Современная наука. – 2011. – № 3 (8). – С.103-106.
2. Исьемин Р.Л., Кузьмин С.Н., Коняхин В.В., Зорин А.Т., Милованов А.В. Об использовании соломы в качестве топлива для котлов коммунальной энергетике. //Промышленная энергетика. –2007. – №6. – С. 40–43.
3. Варес В.(ред.) Справочник потребителя биотоплива. – Таллинн: Таллиннский технический университет, 2005. – С. 183.
4. Кучерявый В.И. Физико-механические свойства соломы. // Научные труды Московского лесотехнического института. – 1988. – №204. – С.79 –84.
5. 5.Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3–11.
6. Гелетуха Г., Тишаев С., Куруленко В. Тепло с полей. Экономика сжигания соломы. // ММ.Деньги и технологии. – 2001. – С. 42 – 45.
7. Касьянов А.С. Энергетический потенциал соломы как биотоплива. // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №1. – [Электронный ресурс] – http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2225.
8. Исьемин Р.Л., Кузьмин С.Н., Коняхин В.В., Михалев А.В., Зорин А.Т. Солома как энергетическое топливо: возможные решения проблем, возникающих при производстве и сжигании гранулированной соломы и других отходов растениеводства // Новости теплоснабжения. –2010. – Т. 115. – №3. – С. 2010
9. Соломенное строительство из соломы и соломенных блоков соломенный дом.- [Электронный ресурс]- www.straw-house.ru/himicheskiy-sostav-solomy.
10. Передерий С. Солома для денег или деньги из соломы //Леспроминформ. –2010. – Т.70. –№4. - С.148 –150.
11. Обзор современных технологий использования биомассы. – Российский центр солнечной энергии. – М., 2002. – С.62.
12. Разработка технологии получения генераторного газа из отходов биомассы. Отчёт о НИР (промежуточн.): / ТОО "ТаСКо – Алатау"; рук. Шаповалов О.И.; исполн. Карташов Ю.И., Карпов Н.П.-Алматы, 2013. – 94 с. – Инв. № 0214РК00206.
13. Солома - альтернативное топливо для сушки зерна. // Хранение и переработка зерна. – 2012. – №10 – [Электронный ресурс] – http://hipzmag.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=824:824&Itemid=15.

Поступила 2 октября 2015 г.

УДК 004.04:629.7

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Исмаил Е.Е.
ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО НЦКИТ, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: ismaile@rambler.ru

В настоящей работе проведен анализ современных моделей качества программного обеспечения (МКПО) с целью оценки их возможностей и применимости. Анализ МКПО проведен в следующих аспектах: эволюция, структура, количество характеристик (подхарактеристик) и их смысловое содержание, а также в плане выявления тенденций развития.

В результате сравнительного анализа основных характеристик и подхарактеристик базовых МКПО выявлен наиболее применимый (базовый) набор характеристик и подхарактеристик качества программных средств. Для применения к конкретным типам программных средств этот базовый набор может быть адаптирован к соответствующим условиям применения путем выбора актуальных характеристик и подхарактеристик, а также возможного добавления необходимых атрибутов качества из других моделей.

Проведенный сравнительный анализ существующих МКПО позволил выявить ряд их недостатков, а также тенденции их развития.

Ключевые слова: *программное средство, качество, характеристики качества, модель качества, сравнительный анализ.*

Бұл мақалада бағдарламалық қамтамасыз ету (БҚ) сапасын (БҚ) қазіргі заманғы модельдерін (БҚСМ) талдауы жүргізіледі. Талдау БҚСМ мүмкіндіктері мен қолдану бағалау үшін өткізілген. БҚСМ талдауы келесі бағыттар бойынша жүргізілген: эволюция, құрылымы, сипаттамалардың (ішкі сипаттамалар) саны және олардың семантикалық мазмұны, сондай-ақ даму тенденцияларын анықтау.

Негізгі БҚСМ сипаттамаларының және ішкі сипаттамаларының салыстырмалы талдау негізінде БҚ сапасының ең қолданылатын (негізгі) қасиеттерінің жиынтығы анықталды.

БҚ нақты түрлеріне қолдану үшін, осы негізгі жиынтық тиісті сипаттамаларын және ішкі сипаттамаларын таңдау арқылы тиісті, сондай-ақ басқа да модельдердің қажет сапа атрибуттарының қосып қолдану жағдайға бейімделуі мүмкін.

Қазіргі БҚСМ өткізілген салыстырмалы талдау олардың кемшіліктерін, сондай-ақ даму тенденцияларын анықтауға мүмкіншілік берді.

Тірек сөздер: бағдарламалық құрал, сапа, сапа сипаттамалары, сапа моделі, салыстармалық талдау

In this paper analyzes contemporary models of software quality (SQM) to assess their capacity and applicability. Analysis of SQM conducted in the following areas: evolution, structure, number of characteristics (subharakteristik) and their semantic content, as well as in identifying development trends.

A comparative analysis of the main characteristics and subharakteristik basic SQM is revealed most applicable (basic) feature set and subharakteristik software quality. To apply to specific types of software, this basic set can be adapted to the respective application conditions by selecting the relevant characteristics and subharakteristic, as well as the possible addition of the necessary quality attributes of the other models.

The comparative analysis of the existing SQM has revealed a number of shortcomings, as well as their development trends.

Keywords: *software, quality, safety, the characteristics of the quality, quality model, comparative analysis.*

Понятие качества программных средств (ПС) - многоплановое и может быть выражено адекватно только некоторой структурированной системой характеристик или атрибутов, называемой моделью качества. За почти полувековую историю развития программной инженерии предложены десятки различных моделей качества программного обеспечения (МКПО) [1-10]. Характеристики, подхарактеристики и атрибуты качества ПС, установленные в этих моделях, стали основой для формального описания характеристик качества и их оценки качества в конкретных проектах.

Пользователи и разработчики испытывают потребности в моделях качества, позволяющих сформировать структуру показателей качества в зависимости от специфики и области применения конкретного программного продукта. МКПО может в разной степени отражать ожидания различных категорий участников программного проекта: менеджеров, разработчиков, персонала сопровождения, пользователей, и должна содержать упорядоченное множество характеристик, обеспечивающих непротиворечивость их интересов. Для того чтобы понять целесообразность использования той или иной модели качества, тех или иных характеристик и подхарактеристик качества ПС, необходимо провести комплексный сравнительный анализ характеристик и особенностей существующих МКПО. В ряде работ [11-15] были выполнены аналогичные исследования. Однако в указанных работах цели анализа МКПО были другими, проводился он, в основном на уровне, характеристик, а подхарактеристики не рассматриваются, либо рассматривались не в полном объеме. В некоторых работах не рассматривался современный стандарт ISO 25010, в котором описана новая МКПО, принятая в 2010 году.

Целью настоящей работы является проведение комплексного сравнительного анализа характеристик и особенностей современных МКПО для оценки их возможностей и применимости. Анализ проводится в следующих аспектах: эволюция, структура, характеристики (подхарактеристики) и их смысловое содержание, а также общие тенденции развития.

Структура МКПО описывается иерархией, элементами которой являются множества характеристик (подхарактеристик, атрибутов) и отношений подчиненности между ними.

Основные параметры МКПО

МКПО, которые существуют в настоящее время, в большинстве случаев являются иерархическими моделями, состоящие из высокоуровневых показателей (характеристик), которые детализируются показателями более низких уровней (подхарактеристики, атрибуты, метрики) до тех пор, пока декомпозиция не приводит к атомарным и измеримым элементам качества (рисунок 1). Все элементы МКПО находятся в отношении подчиненности.

Структура МКПО должна отражать и связывать интересы пользователя, т.е. исходящие свойства системы, с внутренними свойствами, которые понятны разработчикам.

В таблице 1 представлены результаты эволюционного анализа наиболее известных МКПО с указанием основных параметров, в том числе таких, как количество уровней иерархии, количество характеристик/подхарактеристик по уровням/подуровням.

Анализ работ, посвященных исследованию МКПО [11-15], показывает, что наиболее значимыми МКПО являются: МакКола, Боэма, FURPS, Дроми, IEEE, SATC, ISO/IEC 9126, ISO/IEC 25010. Рассматриваемые МКПО практически все основаны на формировании иерархической структуры характеристик качества. Отличия же заключаются в предлагаемом

числе уровней иерархии, а также в самих характеристиках верхнего уровня иерархии, многие из которых все же совпадают.

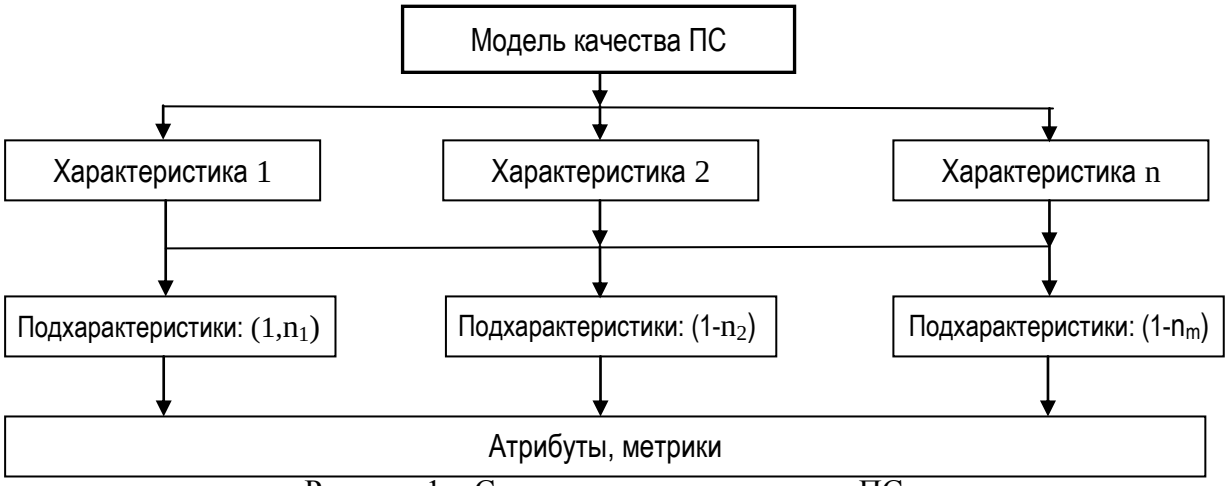


Рисунок 1 – Структура модели качества ПС

Таблица 1 – Основные параметры наиболее известных МКПО

№	Название МКПО	Год публикации	Кол-во уровней модели	Кол-во характеристик/ подхарактеристик	Разработчик	Источ-ник
1	МакКола	1977	2	11/35	J. McCall и компания General Electrics	[1]
2	Боэма	1978	3	3/8/18	B.W.Boehm	[2]
3	FURPS/ FURPS+	1987/2000	2	5/25	R.B.Grady и компания Hewlett Packard	[3]
4	Гецци	1991	1	8	Carlo Ghezzi	[4]
5	ISO 9126	1991	2	6/21 + 4 (для качества в использовании)	ISO	[5]
6	IEEE	1993	2	6/19	IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	[6]
7	Дроми	1995	2	4/13	G.R. Dromey	[7]
8	SATC NASA	1996	2	6/21	SATC (Software Assurance Technology Center NASA)	[8]
9	ISO/IEC 9126-1	2001	2	6/27 + 4 (для качества в использовании)	ISO/IEC	[9]
10	ISO/IEC 25010	2010	2	8/31 + 5/11(для качества в использовании)	ISO/IEC	[10]

Целесообразность иерархической структуры МКПО объясняется, во-первых, тем, что многоуровневая структура показателей качества позволяет системно описать требования к программному средству, позволяя заинтересованным сторонам задать свойства (характеристики) программного продукта, которые они хотят видеть.

В части тенденции развития МКПО можно отметить следующие:

- номенклатура характеристик качества расширяется;
- количество иерархических уровней модели - не менее двух;
- структура характеристик моделей качества усложняется за счет большей их детализации на уровне подхарактеристик.

Существующие МКПО можно разделить на следующие категории:

- основополагающие или базовые модели, которые являются результатом работы авторских коллективов международных авторитетных организаций, соответственно к этой группе относятся модели качества IEEE, SATC, ISO 9126, ISO 9126-1 и ISO 25010;
- корпоративные модели качества ПС, которые, как правило, разрабатывались в интересах определенных разработчиков или потребителей, по объему номенклатуры характеристик и их отношений существенно уступают базовым моделям качества ПО. К данной группе моделей можно отнести следующие модели качества: МакКола, Боэма, Гецци, FURPS, Дромера.

Анализ МКПО с учетом их эволюционного развития показывает, что стандартизованные базовые модели качества развиваются и совершенствуются в соответствие с современными достижениями теории и практики программной инженерии, растущих потребностей в качественных программных продуктах в различных сферах. Также в них учтены основные достоинства корпоративных МКПО. В связи с этим в дальнейшем представляется целесообразным рассматривать только базовые модели: ISO 25010, ISO 9126-1, IEEE и SATC.

Сравнительный анализ характеристик базовых МКПО

С целью выявления наиболее применимых характеристик и подхарактеристик ПС в вышеуказанных стандартизованных МКПО проведен их сравнительный анализ. Результаты такого анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение основных характеристик и подхарактеристик базовых МКПО

Модели качества ПС / Характеристики качества ПС	Модель ISO 25010	Модель ISO 9126-1	Модель IEEE	Модель SATC
А. Характеристики качества ПС				
1.Функциональное соответствие(Functional suitability)	+	+	+	±
2.Производительность (Performance efficiency)	+	±	±	±
3.Совместимость (Compatibility)	+	±	+	±
4.Удобство использования (Usability)	+	+	+	+
5.Надежность (Reliability)	+	+	+	–

Продолжение таблицы 2

6.Защищенность (Security)	+	+	+	±
7.Сопровождаемость (Maintainability)	+	+	+	+
8.Переносимость (Portability)	+	+	+	±
9.Эффективность (Efficiency)	+	+	+	±
10. Функциональность (Functionality)	+	+	+	±
11. Эксплуатационная пригодность (Supportability)	±	±	+	+
12. Качество требований (Requirements Quality)	–	–	–	+
13. Качество продукта (кода) (Product (Code) Quality)	±	±	±	+
14. Качество разработки (Design Quality)	–	–	–	+
15. Эффективность реализации (Implementation Effectivity)	±	±	±	+
16. Эффективность тестирования (Testing Effectivity)	±	±	±	+
17.Качество установки и проверки (Installation & Checkout Quality)	±	±	±	+
18. Качество эксплуатации и обслуживания (Operation & Maintenance Quality)	±	±	±	+
19. Качество вывода из эксплуатации (Retirement Quality)	–	–	–	+
В. Подхарактеристики качества ПС				
1. Функциональная полнота (Functional completeness)	+	+	+	+
2. Корректность функционирования (Functional correctness)	+	+	+	±
3. Функциональная пригодность (Functional appropriateness)	+	+	±	±
4. Временная эффективность (Time behaviour)	+	+	+	±
5. Эффективность использования ресурсов (Resource utilization)	+	+	+	+
6. Производительность (Capacity)	+	±	±	±
7. Способность к сосуществованию (Co-existence)	+	+	+	±
8. Способность к взаимодействию (Interoperability)	+	+	+	±
9. Распознаваемость (Appropriateness recognizability)	+	–	–	±
10. Удобство обучения (Learnability)	+	+	+	+
11. Удобство работы (Operability)	+	+	+	±
12. Защита от ошибок пользователя (User error protection)	+	–	–	–
13. Эстетичность интерфейса (User interface aesthetics)	+	–	–	+

Продолжение таблицы 2

14. Доступность (применимость) (Accessibility)	+	–	–	–
15. Зрелость, завершенность (Maturity)	+	+	–	–
16. Отказоустойчивость (Fault tolerance)	+	+	+	–
17. Готовность (Availability)	+	–	+	–
18. Восстанавливаемость (Recoverability)	+	+	–	–
19. Конфиденциальность (Confidentiality)	+	–	–	–
20. Целостность (Integrity)	+	–	–	+
21. Доказуемость действий (Non-repudiation)	+	–	–	–
22. Способность учета действий (Accountability)	+	–	–	–
23. Аутентичность (Authenticity)	+	–	–	–
24. Модульность (Modularity)	+	–	–	+
25. Возможность многократного использования (Reusability)	+	–	+	+
26. Анализируемость (Analysability)	+	+	–	–
27. Изменяемость (Modifiability)	+	+	+	±
28. Тестируемость (Testability)	+	+	+	+
29. Адаптируемость (Adaptability)	+	+	+	±
30. Устанавливаемость (Installability)	+	+	+	+
31. Удобство замены (Replaceability)	+	+	±	+
32. Точность, правильность (accuracy)	+	+	+	+
33. Соответствие стандартам и правилам (compliance)	–	+	–	±
34. Понятность (understandability)	±	+	+	+
35. Изменчивость (Volatility)	–	–	–	+
36. Привлекательность (attractiveness)	+	+	–	–
37. Стабильность (stability)	–	+	–	–
38. Бездефектность (faultlessness)	–	–	+	–
39. Расширяемость (Expandability)	±	±	+	+
40. Однозначность (Ambiguity)	–	–	–	+
41. Прослеживаемость (Traceability)	–	–	–	+
42. Сложность (Complexity)	–	–	–	+
43. Размер (Sizing)	–	–	–	+

Примечания: знак «+» означает применяемость и полную эквивалентность соответствующих характеристик (подхарактеристик) в рассматриваемых моделях качества ПС, знак «-» означает отсутствие (неприменяемость) указанных характеристик (подхарактеристик) в рассматриваемых моделях качества, знак «±» - означает применяемость, но не полную эквивалентность соответствующих характеристик (подхарактеристик) в рассматриваемых моделях качества ПС.

Результаты сравнительного анализа основных характеристик и подхарактеристик базовых МКПО позволили выявить следующее.

а) Во всех четырех анализируемых базовых моделях качества ПО используются следующие характеристики качества:

- функциональное соответствие (Functional suitability);
- надежность (Reliability);
- удобство использования (Usability);
- защищенность (Security);
- сопровождаемость (Maintainability);
- переносимость (Portability);
- эффективность (Efficiency).

б) Также фактически в той или иной форме во всех четырех анализируемых базовых моделях качества ПО используются следующие подхарактеристики качества:

- функциональная полнота (Functional completeness);
- корректность функционирования (Functional correctness);
- функциональная пригодность (Functional appropriateness);
- временная эффективность (Time behaviour);
- эффективность использования ресурсов;
- способность к сосуществованию (Co-existence);
- способность к взаимодействию (Interoperability);
- удобство обучения (Learnability);
- удобство работы (Operability);
- возможность многократного использования (Reusability);
- изменяемость (Modifiability);
- тестируемость (Testability);
- устанавливаемость (Installability);
- точность, правильность (accuracy);
- понятность (understandability).

в) только в одной из четырех анализируемых базовых моделей качества ПО используются следующие характеристики и подхарактеристики качества:

- качество требований (Requirements Quality);
- качество продукта (кода) (Product (Code) Quality);
- качество разработки (Design Quality);
- эффективность реализации (Implementation Effectivity);
- эффективность тестирования (Testing Effectivity);
- качество установки и проверки (Installation & Checkout Quality);
- качество эксплуатации и обслуживания (Operation & Maintenance Quality);
- качество вывода из эксплуатации (Retirement Quality).
- соответствие стандартам и правилам (compliance);
- изменчивость требований (Requirements volatility);
- стабильность (stability);
- бездефектность (faultlessness);
- расширяемость;
- однозначность (Ambiguity);

– прослеживаемость (Traceability);
– сложность (Complexity);
– размер (Sizing);
– независимость от программной платформы;
– независимость от аппаратной платформы.

На основе результатов сравнительного анализа характеристик различных МКПО, можно отметить, что модель ISO/IEC 25010, являющаяся наиболее современной, совершенной и универсальной, может быть принята в качестве базовой модели. При этом рассмотрение остальных МКПО может быть полезным в аспекте выявления актуальных характеристик, применимых для отдельных типов программных средств. Для применения к конкретным типам программным средств базовая модель должна быть адаптирована к соответствующим условиям применения путем выбора актуальных характеристик и подхарактеристик, а также возможного добавления необходимых атрибутов качества из других МКПО.

Заключение

Обобщая результаты сравнения существующих моделей качества ПС, можно отметить, что проблема описания и оценки качества ПС остается полностью нерешенной в силу большого разнообразия ПС и узкой специфики их отдельных классов. Проведенный сравнительный анализ существующих МКПО, позволил выявить ряд их недостатков, основные из которых могут быть сформулированы следующим образом:

- отсутствие терминологической согласованности, которая приводит к неоднозначности интерпретации однотипных терминов и применению разных терминов для описания эквивалентных понятий;
- существующие модели являются или абстрактными, при этом широко применимыми, или детальными и узко применимыми, т.е. уровень детализации обратно пропорционален уровню применимости;
- отсутствие методов обоснования процесса построения модели качества, зачастую модели качества строились субъективно, по интуиции;
- низкая степень формализации, отсутствие строгой математической основы для описания формальных свойств моделей и методик их построения и способов адаптации;
- отсутствие механизмов установления причинно-следственной связи между качеством программного продукта и принципами, методами и технологиями их проектирования;
- отсутствие четкой и эффективной системы измерения качества программного продукта.

Практика показывает, что нецелесообразно и невозможно разработать универсальную МКПО, устанавливающую единую систему характеристик качества, неизменную во времени и вне зависимости от области и объекта приложения. Пользователи и разработчики испытывают потребности в создании МКПО применимых для описания и оценки качества конкретного ПС с учетом его назначения, специфики и условий применения. Однако для оценки качества конкретных ПС стандартизованные МКПО не всегда подходят в полной мере. Для конкретного разрабатываемого ПС необходимо, исходя из его функционального назначения, особенностей, степени важности отдельных требований, сформировать адаптированную модель качества на основе базовой стандартизованной МКПО.

Работа выполнена в рамках Республиканской бюджетной программы РБП 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникации»

Литература:

1. McCall J. A., Richards P.K., Walters G.F. Factors in Software Quality: Concept and Definitions of Software Quality. Final Technical Report. Vol. 1. National Technical Information Service, Springfield. 1977.
2. Boehm B.W., Brown J.R., Kaspar H., Lipow M., MacLeod G.J., Merritt M.J. Characteristics of Software Quality, TRW Series of Software Technology, Amsterdam, North Holland, 1978. – 166 p.
3. Grady R.B., Caswell D.L. Software Metrics: Establishing a Company-Wide Program. Prentice–Hall, 1987. – 275 p.
4. Ghezzi C., Jazayeri M., Mandrioli D. Fundamental of Software Engineering, Prentice–Hall, NJ, USA. 1991.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению [текст].]. – Введ. 1994–07–01. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 15 с.: ил.
6. IEEE 1219-1993. Standard for Software Maintenance, Software Engineering Standards Subcommittee of the IEEE Computer Society. – 1993. – 45 p.
7. Dromey G.R. A model for software product quality // IEEE Transactions of Software Engineering. - 1995. - Vol. 21. – №. 2. – P.146–162.
8. Hyatt L.E., Rosenberg L.H. A Software Quality Model and Metrics for Identifying Project Risks and Assessing Software Quality / Proceedings of Product Assurance Symposium and Software Product Assurance Workshop. - Noordwijk, 1996. – P. 209–212.
9. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model. – 2001. – 32 p.
10. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. – 2011. – 34 p.
11. Suman M. W. A Comparative Study of Software Quality Models // International Journal of Computer Science and Information Technologies. – 2014. – Vol. 5 (4). – P. 5634–5638. (http://www.ijcsit.com/docs/Volume%205/vol5issue04/ijcsit20140504177.pdf).
12. Sanjay Kumar Dubey. Comparison of Software Quality Models: An Analytical Approach / Sanjay Kumar Dubey, Soumi Ghosh, Ajay Rana // Int. Journal of Emerging Technology and Adv. Engineering. – 2012. – Vol. 2, Issue 2. – P. 111–119.
13. Жарко Е.Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения: аналитический подход [Текст]: XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. – Москва, 16-19 июня 2014 г.: Труды. М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 4585–4594.
14. Гордеев А.А., Харченко В.С. Эволюция моделей качества программного обеспечения: Методика и результаты анализа в контексте стандарта ISO 25010 [Текст] // Системы обработки информации. – 2013. – В. 6 (113). – С. 13–31.
15. Исмаил Е.Е. Современные модели качества программных средств и их особенности // МНЖ «Поиск». – 2015. – № 3. – С. 272–282.

Поступила 2 сентября 2015 г.

УДК 574: 544(574)

«КАЗАХСТАН – НЕ ПОЛИГОН ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ» (ОДИННАДЦАТЬ АРГУМЕНТОВ В ПОЛЬЗУ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС В КАЗАХСТАНЕ)

Ким Д.С.[1], Жумагулова Р.Е.[2], Тажигулова Б.К.[2], Жараспаева Г.Ж.[2], Ажиева Г.И.[2]
[1]Институт ядерной физики, *Алматы, Республика Казахстан*
[2]Международная образовательная корпорация, *Алматы, Республика Казахстан*
e–mail: kimds@gmx.com

В статье приводятся контраргументы результатам критического анализа перспектив развития атомной энергетики в Казахстане, проведённого Президентом Международной академии экологии, доктором технических наук, профессором Мусагали Даумбековым. Название публикации профессора М. Даумбекова использовано в заголовке настоящей статьи в виде цитаты, но акцент сделан на том, что Казахстан – действительно, не полигон для экспериментов атомной энергетики, поскольку будущая казахстанская АЭС обещает стать перспективным и безопасным источником энергии.

Ключевые слова: *атомная энергетика, атомная электростанция, ионизирующее излучение, ядерный реактор, радиационная безопасность*

Мақалада Қазақстан атомды энергетика болашағы дамудың қысылшаң анализ нәтижелеріне контрдәлелдері келтіреді. Бұл анализ Халықаралық экология академиясының Президенті, техникалық ғылымдарының докторы, профессор Мусағали Даумбеков өткізген. Профессор М. Даумбековтың жарияланымының атауы осы мақаласының тақырыптамасында дәйексөз түрінде пайдаланған, бірақ кішкене басқа акцент қарамастан, не Қазақстан – ақиқаттық, атомды энергетиканың эксперименттер үшін полигон емес, неғұрлым келешек қазақстандық АЭС перспективті және қауіпсіз қайраттың көзі болу керек.

Тірек сөздер: *атомды энергетика, атомды электрстанциясы, иондаушы сәулелену, ядролық реактор, радиациялық қауіпсіздік*

The article contains counter-arguments against the results of critical analysis of atomic energy development in Kazakhstan, which had been done by the President of the International Academy of Ecology, Dr., Professor Musagali Dumbekov. The title of the publication of professor M. Dumbekov was used as the quotation in the headline of the current clause, but it emphasizes that Kazakhstan is actually not a test-site for the atomic experiments, because the further Kazakhstani Nuclear Power Plant would become a relevant and safe energy source.

Keywords: *atomic energy, nuclear power plant, ionizing radiation, nuclear reactor, radiation protection*

Публикация профессора М. Даумбекова [1], фактически, начинается с утверждения о том, что электроэнергию на АЭС будет генерировать легководный реактор малой мощности, спроектированный россиянами. Известно, что по конструкции и физическим особенностям реакторы с водяным охлаждением считаются самыми безопасными. Это подтверждает и многолетний опыт эксплуатации исследовательского реактора ВВР-К в Казахстане [2, 3], и отсутствие аварий на энергетических реакторах подобного типа в других странах (реакторы

BWR на АЭС «Фукусима» относятся к типу «кипящих реакторов», кроме того, авария на АЭС «Фукусима» была вызвана отнюдь не недостатками в конструкции [4]).

Строительство АЭС по российским технологиям, действительно, будет означать факт наличия у России на казахстанской территории референтного образца легководного реактора, но достаточно ли это веский аргумент для обвинения «Северного соседа» в намерении использовать нашу страну в качестве экспериментального полигона? – Маловероятно, что Россия намерена проводить сомнительные ядерно-энергетические эксперименты на территории Казахстана, последствия которых угрожают надёжности стратегического партнёрства между странами. К тому же, у России нет насущной потребности в экспериментальном полигоне: опытное конструкторское бюро имени И.И. Африкантова, занятое в атомном машиностроении с 1945 года, реализует более 10 инновационных проектов АЭС под эгидой ЮНЕСКО и ООН.

Озвучив идею Правительства Казахстана о строительстве АЭС в западном регионе, профессор М. Даумбеков упомянул о реакторе БН-350, который предназначался для выработки электроэнергии, опреснения воды Каспийского моря и переработки отвального урана в оружейный плутоний, но был остановлен в 1999 году в рамках международной программы ядерного нераспространения. В данной части также следует отметить, что 27-летний опыт безаварийной эксплуатации БН-350 дополнительно свидетельствует, во-первых, о достаточно развитой ядерной инфраструктуре Казахстана, а во-вторых, о её безопасности [5].

Использование концепции изменения климата как аргумента для «атомного возрождения» вовсе не характерно для работников атомной отрасли. Профессор М. Даумбеков не привёл ссылок на источники, в которых «атомщики» затрагивают глобальное потепление, парниковый эффект и другие аналогичные вопросы, но можно предположить, что связь между данными явлениями и «атомным возрождением» способны обнаружить лишь псевдоспециалисты, обладающие иллюзией знаний в области атомной энергетики. Сторонники развития ядерной индустрии в целом и ядерного топливного цикла – в частности, – опираются в основном на ограниченность запасов сгораемого органического топлива при одновременном прогрессирующем росте объёмов энергопотребления, аргументируя тем самым неизбежность использования атомной энергии.

Отсутствие интереса к атомной энергетике со стороны инвесторов также не может служить доказательством того, что строительство АЭС в Казахстане неоправданно. Современные инвесторы склонны к вложению капитала с практически нулевым риском, но гипертрофированной отдачей, поэтому даже в отрасли добычи нефти они реализуют стратегию «снятия сливок», а о нефтепереработке и вовсе – только говорят. Разумеется, в создавшихся условиях для инвесторов гораздо рентабельнее экспортировать нефть, чем перерабатывать её, но ведь это не означает, что в Казахстане не нужно развивать нефтеперерабатывающую отрасль.

Собственно, вопрос рентабельности лежит в основе первых двух аргументов профессора М. Даумбекова против строительства АЭС в Казахстане.

1. «Экономическая составляющая (высокая стоимость выработки)»

Результаты анализа «Атомная иллюзия» Э. Ловинса и И. Шейха, действительно, приводят стоимость электроэнергии, произведённой на АЭС, равной 14 центам за кВт·ч, что вдвое превышает цену 1 кВт·ч электроэнергии, выработанной на ветровой электростанции. Однако,

как известно, расчёт стоимости электроэнергии представляет собой огромное поле для «математических спекуляций».

Если значения плотности энерговыделения ядерного и сгораемого топлива известны, то «количества» ветра или солнечной радиации, необходимые для производства единицы энергии, продолжают оставаться предметом тщательного изучения. Экстраординарно высокая плотность энерговыделения, характерная для ядерного топлива, является его главным преимуществом перед ископаемым топливом, что наглядно демонстрирует таблица 1 [6].

Таблица 1 – Плотности энерговыделения ядерного и сгораемого видов топлива

Наименование вида топлива	Масса топлива, кг	Выработка электроэнергии, кВт · ч
Уголь	1	3
Нефть	1	4
Уран	1	50000
Регенерированное ядерное топливо	1	350000

Соответственно, для электростанции мощностью 1000 МВт ежегодно потребуется 2 600 000 тонн угля, 2 000 000 тонн нефти или 30 тонн урана.

Конечно, получение ядерного или сгораемого топлива требует затрат в отличие от бесплатных и неисчерпаемых ресурсов ветра или солнечного излучения, и конструкции ветровых или солнечных электростанций намного проще, что обусловливает меньшие расходы на обслуживание и ремонт их оборудования. Энергетика, основанная на использовании энергии ветра или солнца, могла бы служить экологически обоснованной альтернативой ядерной энергетике, но главный недостаток ветровых и солнечных электростанций в том, что ввиду малой мощности они не могут обеспечить потребности людей в дешёвой электроэнергии. Низкая плотность энерговыделения возобновляемых источников требует больших затрат площадей на единицу выработанной энергии, тогда как площади атомных электростанций не превышают нескольких квадратных километров (таблица 2) [6].

Таблица 2 – Площади, занимаемые электростанциями различных типов

Тип электростанции	Занимаемая площадь, км^2
Тепловые и атомные электростанции	1 ÷ 4
Солнечные тепловые и фотоэлектрические	20 ÷ 50
Ветровые поля	50 ÷ 150
Биомассовые плантации	4000 ÷ 6000

Кроме того, ни ветровые, ни солнечные электростанции не предусматривают возможность аккумулировать энергию, в связи с этим становится невозможно управлять её выработкой в зависимости от интенсивности энергопотребления, которое изменяется в различные сезоны года и даже в разное время суток.

Что касается учёта дополнительных затрат на утилизацию радиоактивных отходов, обязательное страхование на случай аварии и вывод АЭС из эксплуатации, то аналогичные статьи расходов существуют и в других отраслях. Использование воздушных перевозок требует намного больших затрат (на обслуживание парка самолётов, обучение пилотов, керосин, страхование пассажиров и утилизацию фюзеляжей) по сравнению с эксплуатацией гужевого транспорта, да и уровень потенциальной опасности в авиации более высок. Пассажиры воздушного судна подвергают себя большему риску, причём сами же и покрывают все расходы авиакомпаний, но никто из них не считает авиацию «*дохлым номером*».

2. «Экономическая составляющая (высокая стоимость утилизации)»

Говоря о высокой стоимости утилизации радиоактивных отходов и вывода АЭС из эксплуатации, профессор М. Даумбеков привёл достоверные и действительно неоспоримые факты.

Проблемы утилизации ядерных отходов и вывода реакторов из эксплуатации хорошо известны в достаточно широких научных и общественно-политических кругах. Для решения проблем утилизации отходов ядерного топливного цикла проводятся работы, направленные на уменьшение их объёмов и уровня радиотоксичности. Например, с 2006 года во всём мире начался последовательный процесс реинжиниринга активных зон реакторов с учётом использования низкообогащённого топлива с содержанием изотопа урана-235 менее 20% по массе. Также проводятся эксперименты по вторичному использованию в ядерном топливном цикле плутония, являющегося наиболее долгоживущим и радиотоксичным отходом эксплуатации ядерных реакторов [7].

Если всё же принять высокую стоимость утилизации радиоактивных отходов ($14 за 0,454 кг) и вывода реакторов из эксплуатации (250÷500 млн. долларов за реактор) как основу решения о том, быть или не быть атомной энергетике, то АЭС окажутся неприемлемыми не только в Казахстане, но и во всём мире. Однако, тогда же и возникнет набивший оскомину вопрос о том, существует ли альтернатива атомной энергетике в условиях растущего удельного энергопотребления (из расчёта на одного потребителя) вкупе с неуклонным ростом числа самих потребителей.

Ремарка профессора М. Даумбекова об угрозе террористических атак и пунктов захоронения радиоактивных отходов весьма абстрактна, поскольку применима не только к объектам использования атомной энергии, но и к крупным торгово-экономическим центрам, и к транспортным узлам, и к жилым домам. Решение проблемы возможной террористической угрозы находится в компетенции специальных исполнительных органов власти, хотя частично входит в юрисдикцию атомного законодательства. Правительство Республики Казахстан 22 декабря 2004 г. приняло Закон «О присоединении к Конвенции о физической защите ядерного материала», 3 февраля 2010 г. ратифицировало Конвенцию «О ядерной безопасности и о безопасности обращения с отработавшим топливом и с радиоактивными отходами», а 10 февраля 2011 г. – Венскую конвенцию «О гражданской ответственности за ядерный ущерб».

Следующие два аргумента профессора М. Даумбекова против строительства АЭС в Казахстане основаны на постулате потенциальной опасности ядерных реакторов.

3. «Экологическая безопасность (большие риски, приводящие к авариям)»

Угроза тяжёлых ядерных аварий лежит в основе подавляющего большинства аргументов, выдвигаемых противниками развития атомной энергетики, а названия «Чернобыль» и «Фукусима» стали уже, фактически, нарицательными. При нормальной эксплуатации АЭС не представляет опасности для человека как вблизи станции, так и регионально, и глобально [2–5]. Для поддержания цепной реакции требуется малое количество ядерного топлива, что важно и для урановых рудников, и для размещения радиоактивных отходов, и для вывода реакторов из эксплуатации. Значительное влияние на человека и среду его обитания возникает только при потенциально возможной радиационной (ядерной) аварии.

Вместе с тем, сводный анализ по авариям в энергетической промышленности в период с 1957 г. по 2014 г., результаты которого представлены в таблице 3, показывает, что наибольшее количество человеческих жертв приходится на гидроэнергетику, а наименьший – на ядерную энергетику [6].

Таблица 3 – Смертность в энергетических авариях (статистические данные по энергетическим авариям в период с 1957 по 2014 гг.)

Источник энергии	Примерное количество аварий	Средняя смертность при одной аварии, человек	Отношение смертности к выработке 1 ГВт электроэнергии
Уголь	200	5 ÷ 434	0,32
Нефть	300	5 ÷ 500	0,36
Природный газ	100	5 ÷ 425	0,09
Жидкий пропан	90	5 ÷ 100	3,1
Гидроэнергетика	130	10 ÷ 2500	0,8
Ядерная энергетика	10	1 ÷ 31	0,01

Риск возникновения радиационной аварии на реакторе можно оценивать разными способами, самый простой из которых – статистический. Ключевым в данном случае является ответ на вопрос, сколько произошло аварий на АЭС по отношению к общему числу энергетических реакторов, проработавших безаварийно на протяжении всего периода эксплуатации, а также, какие меры по повышению безопасности были предприняты на основании уроков, извлечённых из радиационных и ядерных аварий.

В качестве примеров в статье профессора М. Даумбекова приводятся радиационные аварии в Чиндскейл Пайле (Великобритания, 1957 г.), на Три-Майл-Айленде (США, 1979 г.), в Чернобыле (СССР, 1986 г.) и Фукусиме (Япония, 2011 г.)

По первому примеру следует добавить, что в Чиндскейл Пайле известны 2 аварии, одна из которых произошла в 1957 г., а вторая – в 1973 г. Суммарная активность залпового газоаэрозольного выброса в окружающую среду во время первой аварии составила порядка нескольких петабеккерелей (10^{15} Бк). Подобный выброс потребовал лишь частичной реализации контрмер для снижения вероятности аварийного облучения людей. Для сравнения, в Японии в поверительной лаборатории индивидуальных дозиметров на фосфатных стёклах корпорации «Chyoda Technol Corp.» используются калибровочные

источники ионизирующего излучения активностью в несколько терабеккерелей (10^{12} Бк). Во время аварии в 1973 г. произошёл внешний выброс радиоактивности, при котором доза наибольшего облучения человека составила порядка нескольких мЗв, тогда как годовая индивидуальная доза профессионального облучения установлена Гигиеническими нормативами по радиационной безопасности на уровне 20 мЗв. При таком выбросе даже не возникло необходимости в защитных мероприятиях за пределами промплощадки, кроме профилактического контроля содержания радиоизотопов в продуктах питания.

Аварию на АЭС «Три-Майл-Айленд» вызвало сразу несколько причин [4]. Последствия аварии были ограничены, фактически, главным залом реактора: на пол главного зала вылилось 38 $м^3$ радиоактивной воды [4], которая вскоре была перекачана дренажными насосами в герметичные баки во вспомогательном корпусе. Все причины, повлекшие аварию, были учтены при дальнейшей эксплуатации АЭС, которая до сегодняшнего дня функционирует бесперебойно и безаварийно.

Фактически, глобальными ядерными авариями можно считать только «Чернобыль» и «Фукусиму». Остальные происшествия совершенно точно были названы профессором М. Даумбековым «*инцидентами*», т.е. событиями нулевого уровня Международной шкалы ядерных событий (INES – International Nuclear Events’ Scale).

Авария на Чернобыльской АЭС также оказалась неизбежной по ряду причин [4]. Опасный недостаток в конструкции реактора, а также ряд ошибок, допущенных при проведении эксперимента, сегодня уже изучены настолько, что можно с уверенностью говорить о неповторимости аналогичной аварии ни на одной из АЭС.

Авария на АЭС «Фукусима-1» произошла в результате затопления аварийных электрогенераторов реакторов. Аварийные электрогенераторы не были установлены на уровнях, превышающих максимально возможную высоту волн цунами, в водонепроницаемом помещении, а передвижных дизельных электрогенераторов для аварийного электроснабжения реакторных комплексов АЭС оказалось недостаточно. В зданиях ректоров не были установлены водородные рекомбинаторы, позволяющие избежать водородных взрывов. Эти выводы, сделанные в результате анализа аварии [4], несомненно, позволят избежать её повторения.

Вопрос о страховании на случай ядерной аварии весьма спорный, поскольку, с одной стороны, страхование представляет собой значительную статью расходов на содержание АЭС, а с другой – непонятно, как вообще возможно оценить в денежном эквиваленте, сколько стоит, например, кубометр воздуха или гектар почвы, загрязнённых радионуклидами, рассеянными шлейфом радиоактивного облака.

Проблема потенциальной аварийной опасности АЭС должна решаться не экономическими, а нормативно-техническими инструментами, чтобы 10 миллиардов долларов, рассчитанные профессором М. Даумбековым в виде убытков в случае катастрофической аварии, не легли тяжким бременем на плечи налогоплательщиков Казахстана.

4. «Экологическая безопасность (отрицательное влияние на природу)»

Непосредственно при работе реакторов происходят лишь небольшие нормированные выбросы благородных радиоактивных газов в атмосферу, практически не превышающие радиационный фон в окрестностях АЭС [2–5]. Подсчитано, что годовая доза техногенного внешнего облучения человека в радиусе 50 км от угольной ТЭС в 5 ÷ 6 раз превышает дозу

от АЭС такой же мощности. На планете существует природный радиационный фон от радона, который выделяется из земли и формирует примерно 40 ÷ 50% среднегодовой экспозиционной дозы индивидуального облучения человека. Дополнительный природный радиационный фон от космического излучения и радиоактивных материалов, находящихся в земле и внутри человеческого тела, составляет ещё около 30 ÷ 40%. Оставшиеся 10 ÷ 20% приходится на облучение от медицинских исследований с помощью рентгенографии и радиационной терапии. Вклад последствий ядерных взрывов (глобальных выпадений) и аварий на ядерных реакторах в общую дозу облучения человека не превышает 1%, как показывают данные таблицы 4 [6].

Таблица 4 – Вклады различных источников в среднегодовую индивидуальную дозу облучения человека

Источник	Эквивалентная доза, мЗв/год (среднее значение)
Космическое излучение	0,32
γ-излучение естественных радионуклидов (ЕРН)	0,35
Внутренне облучение	0,33
Радон в помещениях	1,6
Угольная энергетика	0,09
Всего за счёт природных источников	2,69
Рентгенодиагностика	1,4
Ядерная энергетика с учётом последствий аварий на АЭС	0,008
Профессиональное облучение	0,006
Испытания ядерного оружия	0,02
Всего за счёт антропогенных источников	1,43
В целом	4,12

Для сравнения риска от низких доз облучения в ядерном топливном цикле (ЯТЦ) с риском от токсического загрязнения в угольном топливном цикле (УТЦ) российскими учёными были проведены тщательные многолетние медицинские исследования с охватом больших масс населения [6]. При исследованиях были учтены опасности воздействия радионуклидного загрязнения почвы и атмосферы и канцерогенный эффект химических компонентов выбросов УТЦ (летучая зола, угольная пыль, сернистый газ, органические канцерогены, особенно бензапирен и др.); влияние неканцерогенных факторов выбросов ТЭЦ (оксиды азота и серы, ртуть и другие тяжёлые металлы) не учитывалось. Результаты сравнения представлены в таблице 5.

В статье профессора М. Даумбекова описано отрицательное влияние процессов добычи урана на окружающую среду. Однако, хорошо известно, что отходы деятельности ядерного топливного цикла, образующиеся на стадии добычи и первичного обогащения урановых руд, обладают невысокой активностью и представлены только естественными радионуклидами. Их действие распространяется лишь на первые сотни метров от отвалов горных пород (при переносе радиоактивной пыли с ветром и их возможном попадании в грунтовые воды).

Таблица 5 – Сравнительная оценка ущерба здоровью человека от ядерного и угольного топливных циклов (ЯТЦ и УТЦ) при выработке 1 ГВт электроэнергии в год [6]

Вид ущерба	ЯТЦ	УТЦ
Число случаев преждевременной смерти	1	20 ÷ 600
Общее сокращение продолжительности жизни, лет	20	$0{,}6 \cdot 10^3 \div 1{,}8 \cdot 10^4$
Общие потери трудоспособности, лет	10	$0{,}4 \cdot 10^3 \div 1{,}2 \cdot 10^4$

Что касается негативных последствий выщелачивания, то этот способ применяется не только при добыче урана, но и других полезных ископаемых, которыми изобилует казахстанская земля…

5. «Бесперспективность строительства»

Один из экспертов в области использования атомной энергии М. Шнейдер, действительно, прогнозирует надвигающийся спад мировых атомных генерирующих мощностей, но его прогноз не вполне однозначен.

На сегодняшний день в 30 странах мира эксплуатируется около 200 атомных электростанций с 440 энергетическими ядерными реакторами, ежегодно вырабатывающими почти 400 ГВт электрической энергии. Даже после аварии на АЭС «Фукусима-1» большинство стран сохранило свои программы развития атомной энергетики, и 65 реакторов находятся на разных этапах строительства. Мировыми лидерами в использовании атомной энергии на АЭС являются США, Литва, Франция, Словакия, Бельгия, Швеция, Япония, Россия, Корея и Германия; Китай в течение ближайших 20 лет планирует запустить в эксплуатацию 70 новых реакторов.

6. «Первый экспериментальный образец для мирных целей»

Как утверждает профессор М. Даумбеков, российский реактор ВБЭР-300, который предполагается использовать в проекте казахстанской АЭС, имеет повышенную степень опасности, и в качестве доказательств приводит статистку аварий на атомных подводных лодках (АПЛ), для которых изначально предназначались реакторы данного типа. На самом деле, безопасность ВБЭР-300, спроектированного в ОКБМ имени И.И. Африкантова, обеспечивается тремя уровнями глубокоэшелонированной защиты и функционированием таких систем, как аварийный останов реактора, теплосъём и охлаждение активной зоны, устройство двойной защитной оболочки трубопроводов первого контура, охлаждение контейнмента, реагирование на сейсмические колебания и многих других. Аварии, произошедшие на АПЛ, начиная с 1970 г., были тщательно проанализированы, а их причины изучены. В результате сегодня количество аварий на АПЛ существенно сократилось. К тому же, разнообразие внешних факторов, способных повлечь аварию на реакторе АПЛ, заметно шире по сравнению с 3 основными причинами возникновения аварий на энергоблоках стационарных АЭС [9].

7. «Опасное строительство на берегу моря»

Профессор М. Даумбеков поднимает вопрос об опасности радиоактивного загрязнения воды Каспийского моря, на берегу которого планируется построить АЭС, в случае аварии,

аналогичной «Фукусиме». Действительно, в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» в воды Тихого океана, а также Японского и Восточно-Китайского морей, омывающих острова Хонсю, Кюсю и Сикоку, поступили радиоактивные вещества. Их суммарная активность около 5 ПБк ($5 \cdot 10^{15}$ Бк) [10], что в 62,5 раза выше суммарной активности, которую сбросили в Каспийское море во время эксплуатации реактора БН-350 ($0{,}08 \cdot 10^{15}$ Бк) [11]. Однако, уже через 2 года после аварии уровень загрязнения японских акваторий цезием-137 не превышал 0,5 Бк/л [12], тогда как уровень вмешательства по данному радиоизотопу равен 11 Бк/кг [13]. Сумма отношений активности каждого из содержащихся в морской и океанической воде радионуклидов к соответствующему уровню вмешательства вовсе не превышала 1, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к питьевой воде [13]. Конечно, всё это не означает, что угрозой выброса радиоактивных веществ в акваторию Каспийского моря в случае аварии на казахстанской АЭС можно пренебречь. Напротив, система глубокоэшелонированной защиты проектируемого реактора для казахстанской АЭС предусматривает нераспространение последствий максимально возможной аварии за пределы санитарно-защитной зоны объекта.

8. «Опасное строительство вблизи населенного пункта»

Строительство любого промышленного объекта (не только АЭС) вблизи населенного пункта связано с потенциальной опасностью для человека. Однако, приведённый профессором М. Даумбековым пример аварии на АЭС «Фукусима-1», последствия которой распространились на населенные пункты в радиусе 100 км от неё, вряд ли можно считать характерным для Казахстана. На АЭС «Фукусима-1» работало 6 энергетических реакторов суммарной мощностью 4,7 ГВт, тогда как на казахстанской АЭС, по словам самого профессора М. Даумбекова, будет функционировать 1 реактор ВБЭР-300 мощностью 300 МВт. Согласно ещё советским методикам (Методические указания по санитарно-дозиметрическому контролю в районах расположения ядерных реакторов и методика расчёта «Оценка радиационных последствий аварий на исследовательских реакторах» предоставлены Институтом атомной энергии имени И.В. Курчатова.) , радиус санитарно-защитных зон вокруг ядерных реакторов тепловой мощностью выше 100 МВт составляет 5 км, и эта норма была установлена в то время, когда реакторов поколения «3+» (повышенного уровня безопасности) не было даже в проекте.

Говоря об экологической безопасности граждан, проживающих вблизи АЭС, можно вновь обратиться к результатам многолетнего радиационного мониторинга окружающей среды в зонах наблюдения реакторов БН-350 и ВВР-К, свидетельствующим об их экологической чистоте, если не сказать – стерильности [2].

9. «Большой срок строительства»

В данном пункте профессор М. Даумбеков привёл сведения о том, что срок строительства атомной станции составит 15 и более лет, причём энергозатраты на её возведение достигнут 20% от общего количества энергии, которое АЭС способна выработать за 30 лет эксплуатации. Однако, на сегодняшний день строительство АЭС происходит путём «географической привязки» существующих типовых проектов к условиям конкретной промплощадки; именно таким образом Китай планирует в 20-летний период произвести физический пуск 70 энергетических реакторов. Также неясно, чем могут быть вызваны столь значительные (20% от 30-летнего объёма выработки) энергозатраты на строительство.

Монтаж готового реактора и загрузка его активной зоны топливом, производимым на УМЗ, – не настолько энергозатратные операции, да и строительство зданий и устройство инженерных систем АЭС требуют не больше энергоресурсов, чем возведение другого сопоставимого по масштабу промышленного объекта.

Справедливо предположить, что более уместным аргументом профессора М. Даумбекова мог бы служить большой срок не строительства, а окупаемости АЭС, который, по прогнозам, составит не менее 15÷20 лет [14]. Но даже в этом случае строительство АЭС себя оправдывает: ведь срок её службы составляет, по словам самого профессора М. Даумбекова, около 40 лет.

Оценка стоимости строительства АЭС, в свою очередь, была бы более привычной в абсолютном денежном выражении, чем в относительном эквиваленте энергозатрат. На сегодняшний день подсчитано, что стоимость строительства одного энергоблока обойдётся Казахстану в 5 миллиардов долларов, а ориентировочная стоимость оборудования АЭС, необходимого для выработки 1 кВт электроэнергии, составит не менее 2000 долларов [14]. После аварии на японской АЭС «Фукусима-1» в сметы строительства АЭС стали закладываться значительные суммы на обновленные системы безопасности реакторов. К тому же, как справедливо отметил профессор М. Даумбеков со ссылкой на заключение западных специалистов, нужно учесть стоимость демонтажа АЭС, которая равна стоимости её строительства. Итоговая сумма получается, действительно, внушительной для бюджета Республики, но определить, насколько именно, уполномочены только экономисты. Например, затраты на проведение EXPO-2017 сопоставимы со сметой на строительство и демонтаж АЭС, но это не воспрепятствовало принятию положительного решения о проведении Международной выставки в Казахстане.

10. «Импорт оборудования и специалистов»

Профессор М. Даумбеков прав в том, что практически всё необходимое оборудование для АЭС придётся завозить в Казахстан из-за рубежа, но это неизбежно не только в энергетическом, но и в других секторах экономики. Технологические линии автомобилестроения также импортируют, но важно, что производство конечного продукта осуществляется по принципу «у потребителя». Чтобы сырьевая основа экономики нашей страны заместилась индустриально-инновационной, необходимы производственные мощности, создавать которые дольше и дороже, чем импортировать. В конце концов, суть самой Президентской программы форсированного индустриально-инновационного развития состоит не в том, чтобы изобретать велосипед, но вооружаться соответствующими технологиями производства и налаживать его «у потребителя».

Что касается отсутствия специалистов для работы на АЭС, то структурная безработица, когда уровень квалификации потенциальных работников не удовлетворяет требованиям работодателя, наблюдается практически повсеместно, – это общая проблема казахстанского рынка занятости. Однако, именно для работы на АЭС подготовленных специалистов можно привлечь из числа сотрудников Института ядерной физики, Казатомпрома или Национального ядерного центра. Конечно, ими не удастся заполнить все 7000 рабочих мест, но, в конце концов, нет ничего предосудительного в том, чтобы кадровый состав казахстанской АЭС обучать в России. Профессор М. Даумбеков выразил обеспокоенность объёмом финансирования, необходимого для подготовки «ядерных» специалистов в России, но ведь даже навскидку очевидно, что эти затраты не идут ни в какое сравнение со

средствами, уже затраченными на обучение отечественных «золотых» студентов по программе «Болашақ» в лучших ВУЗах по всему миру.

Совершенно непонятна постановка вопроса профессора М. Даумбекова: «*Какой казах отправит своего ребенка в атомный завод, когда они сами страдают от радиоактивных излучений?!*» Во-первых, Лидер Нации Н.А. Назарбаев, призывая к развитию атомной энергетики и строительству АЭС (возможно, даже не одной), ни слова не сказал о том, что в ядерной индустрии должны работать исключительно казахи. Во-вторых, население страны гораздо сильнее страдает не от *ионизирующего* излучения (*радиоактивным* бывает только вещество или материал, но не излучение), а от радиофобии, объективными причинами которой могут служить, разве что, последствия ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне.

Ответ на вопрос о том, будет ли соответствовать уровень подготовки отечественных специалистов российским требованиям, предполагает, скорее, утверждение. Не случайно Межправительственное соглашение «О взаимном признании и эквивалентности документов об образовании, учёных степенях и званиях» от 24.11.1998 г., подписанное главами правительств России, Казахстана, Белоруссии и Кыргызстана, до сих пор не утратило силу.

Относительно молодых людей, отучившихся в Обнинске, но не работающих на АЭС, вполне справедливо предположить, что им попросту негде применить полученные знания ввиду отсутствия в Казахстане АЭС.

11. «Ненужная электроэнергия в регионе»

Профессор М. Даумбеков писал о Западно-Казахстанском регионе, для энергоснабжения которого, действительно, не требуется мощная АЭС. Однако, чтобы оценить потребность в электроэнергии не в отдельно взятом регионе, а в целом по Республике, нужно определить соотношение суммарной вырабатываемой энергии в течение определённого времени к объёмам энергопотребления за тот же период.

Суммарная энергетическая мощность всех электростанций Казахстана составляет около 19 ГВт. Основной вклад в производство электроэнергии вносят 37 ТЭС, работающих на углях Экибастузского, Майкубинского, Тургайского и Карагандинского бассейнов. Объём выработки электроэнергии на ТЭС составляет 87,7%, на ГЭС – 12,3%, из которых около 70% электроэнергии в Казахстане вырабатывается из угля, 14,6% – из гидроресурсов, 10,6% – из газа и 4,9% – из нефти [15].

Суммарная мощность гидроресурсов Казахстана составляет 1,7 10^{10} кВт ч в год. Экономически эффективные гидроресурсы сосредоточены в основном на востоке (горный Алтай) и на юге Республики. Крупнейшие ГЭС – Бухтарминская, Шульбинская, Усть-Каменогорская (на реке Иртыш) и Капчагайская (на реке Или) обеспечивают 10% потребностей страны. В перспективе планируется увеличение использования гидроресурсов. В декабре 2012 года запущена в эксплуатацию Мойнакская ГЭС (300 МВт), проектируются Булакская (78 МВт) и Кербулакская ГЭС (50 МВт), и ряд малых станций [15].

Однако, даже несмотря на столь внушительный потенциал, Казахстан со временем не избежит энергетического дефицита. Рост энергетических потребностей населения и реализация промышленных и инфраструктурных проектов позволяют прогнозировать повышение электропотребления в Казахстане до 173 миллиардов кВт · ч к 2030 году, а существующие мощности способны вырабатывать лишь 80 миллиардов кВт · ч [15].

Кроме того, Северный Казахстан экспортирует электроэнергию в Россию, а южный регион вынужден покупать электроэнергию у Кыргызстана и Узбекистана, причём энергетические потери в процессе передачи и распределения электроэнергии составляют 21,5% [15]. Столь существенные потери электроэнергии и рост числа аварий на энергетических объектах связаны с высокой степенью износа существующих генерирующих мощностей и электрических сетей при отсутствии инвестиций в их модернизацию.

Если проблему прогнозируемой нехватки электроэнергии во всей стране сузить до энергодефицита в 250 МВт только в западном регионе, о котором говорится в статье профессора М. Даумбекова, то тогда, действительно, хорошим решением было бы предлагаемое им строительство газотурбинной станции на базе МАЕК.

С выводами профессора М. Даумбекова, приведёнными в подразделе его статьи «Что нам необходимо делать?», в целом можно согласиться, правда, с учётом некоторых комментариев.

Как предлагает профессор М. Даумбеков, «*необходимо создать в стране «Казатомнадзор», который обеспечивал бы ядерную безопасность страны и был в прямом подчинении главе правительства»,* поскольку *«сегодня Комитет по атомной энергии сам себе разрешает и сам же себе запрещает»*. – На самом деле, Комитет по атомному и энергетическому надзору и контролю (КАЭНК) Министерства энергетики – главный Уполномоченный орган Республики Казахстан в области использования атомной энергии – осуществляет административные функции, формулирующие справедливую ядерно-энергетическую политику государства, гарантом которой является Конституция. Комитет выдаёт разрешения на выполнение работ в области использования атомной энергии, проверяет соблюдение условий действия лицензий и проводит аттестацию лиц, ответственных за радиационную безопасность в организациях, использующих источники ионизирующего излучения (ИИИ), ведёт их реестровый учёт, – т.е., КАЭНК что-либо разрешает или запрещает не самому себе, а субъектам использования атомной энергии. Помимо КАЭНК, надзор за безопасностью использования атомной энергии осуществляет Комитет по индустриальному развитию и промышленной безопасностью Министерства по инвестициям и развитию РК, поэтому наряду с Санитарными правилами и гигиеническими нормативами по радиационной защите, для контроля безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии в Казахстане также применяются:

- Закон Республики Казахстан «О радиационной безопасности населения» от 23 апреля 1998 года №219-I, который регулирует общественные отношения в области охраны здоровья человека и его защиты от вредного воздействия ионизирующего излучения;

- Закон Республики Казахстан «О гражданской защите» от 11 апреля 2014 года №188-V, согласно которому все предприятия, где производятся, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются или уничтожаются ИИИ, являются опасными производственными объектами и подлежат обязательному декларированию промышленной безопасности;

- «Требования промышленной безопасности при обращении с источниками ионизирующего излучения», утверждённые приказом Министра по ЧС Республики Казахстан от 10 ноября 2011 года №455, которые распространяются на ИИИ, создающие при обращении с ними индивидуальную годовую эффективную дозу более 10 мкЗв (на коже – более 50 мЗв, в хрусталике глаза – более 15 мЗв).

Второе предложение профессора М. Даумбекова заключается во внедрении и развитии альтернативных энергетических технологий, использующих энергию ветра или солнца. – Ранее уже упоминались недостатки ветровых и солнечных электростанций, заключающиеся в их малой мощности, неспособности удовлетворить потребности людей в дешёвой электроэнергии и большой площади по сравнению с ГЭС или АЭС. Восполнить прогнозируемый к 2030 году энергодефицит [15] путём использования возобновляемых энергоресурсов невозможно, поскольку объём производства электроэнергии посредством преобразования энергии ветра и солнца не может превысить 0,2% суммарной выработки электроэнергии [14]. Профессор М. Даумбеков говорит о том, что «*территория Казахстана характеризуется богатыми ветроэнергетическими ресурсами, и её потенциал в сотни раз превышает современное электропотребление*», но в то же время из всех возможных мест строительства ветровой электростанции указывает лишь на всем давно известный район Джунгарских ворот.

Своё третье предложение о строительстве газотурбинных станций профессор М. Даумбеков основывает на их экономической привлекательности, экологической чистоте и избыточной доступности ресурсов в виде попутного газа, который, вопреки законодательству Казахстана и Киотскому протоколу, ежегодно сжигается в объёме до 10 миллиардов кубометров в 7 областях страны. Действительно, гибкость газотурбинных станций по отношению к выбору топлива и более низкая эмиссия вредных веществ по сравнению с традиционными ГЭС и ТЭЦ позволяют использовать биогаз со свалок, очистных сооружений и аграрных предприятий и снижать капиталоёмкость проектов. Однако, необходимо обратить внимание на ряд проблем, ограничивающих рост производства энергии, таких как топливные лимиты, связанные со снижением разведанных запасов газа и нефти. Переход на альтернативные энергоносители требует серьезной перестройки добывающих мощностей, что приведет к росту себестоимости энергии. Кроме того, у газотурбинных станций существуют технические проблемы. Например, для работы газотурбинных установок на мощности от 5 МВт требуется предварительная подготовка топлива (очистка, осушка, компрессия), причём специалисты отмечают низкую эффективность газотурбинных установок при неполной загрузке. Для того, чтобы установка выдавала полезную мощность, начальная температура газа перед турбиной должна превышать 550°С, что требует использования специальных жаростойких материалов и специальных систем охлаждения наиболее высокотемпературных частей. Поскольку на привод компрессора расходуется до 50÷70% мощности, развиваемой турбиной, полезная мощность газотурбинной установки гораздо меньше фактической мощности газовой турбины. Единичная мощность газотурбинной установки ограничена 120÷150 МВт, т.е. для восполнения прогнозируемого к 2030 году энергодефицита в 173 миллиарда кВт · ч, Казахстану потребуется отнюдь не одна газотурбинная станция. Также газотурбинные установки при работе характеризуются значительным уровнем шума, который является вредным производственным фактором.

Таким образом, атомная энергетика на сегодняшний день является практически безальтернативным способом удовлетворения растущих потребностей в электроэнергии в условиях ограниченности запасов традиционных видов топлива и необходимости сохранения экологического равновесия. АЭС позволит решить многие проблемы в отечественной электроэнергетике, освободить южные регионы Казахстана от энергетической зависимости от Узбекистана и Кыргызстана и поможет реализовать программу

форсированного индустриально-инновационного развития, Стратегию «Казахстан-2050» и другие проекты, которые должны привести к увеличению объёма экономики, дальнейшему росту благосостояния народа, достижению прогресса во всех сферах жизнедеятельности нашей страны.

Литература:

1. Международная академия экологии / Журнал ЭКО. – http://eko-kaz.kz/news/kazakhstan_ne_poligon_dlja_ehksperimentov_atomnoj_ehnergetiki_odinnadcat_prichin_protiv_stroitelstva_aehs_v_kazakhstane/2012-02-09-10
2. Ким Д.С. Радиационная экологическая обстановка в Республике Казахстан в районах расположения реакторов и на территории Семипалатинского испытательного полигона // Радиационная биология. Радиоэкология. – Т. 52. – № 4 – С. 409–418.
3. Ким Д.С. Безаварийная эксплуатация исследовательского реактора ВВР-К как основа экологической стабильности в районе его расположения // Вестник Казахстанско-Британского Технического Университета. – 2010. – № 2 – С. 57–63.
4. [4] Касенов К.М., Ким Д.С., Иркегулов А.Ш. Практическое применение дерева отказов для анализа аварий на ядерных реакторах // Вестник КазНТУ им К.И. Сатпаева. – 2013. – №5. – С. 67–78.
5. Ким Д.С. Безаварийная эксплуатация реактора БН-350 как основа экологической стабильности в районе его расположения // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2010. – № 3. – С. 177–182.
6. Учебно-методическое руководство по радиоэкологии и обращению с радиоактивными отходами для условий Казахстана // Проект МНТЦ К-112 ISBN 9965–13–339–5. – Алматы: ОАО «Волковгеология», 2002. – 311 с.
7. Жараспаев М.Т., Ким Д.С., Жумагулова Р.Е. Спектрометрический анализ испарений образцов смешанного ядерного топлива $(U_{0.80}Pu_{0.20})O_2$, нагретых до температуры выше 2000°С // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – № 4. – С. 75–79.
8. Ким Д.С. Внереакторные эксперименты над ядерными и биологическими материалами // LAP LAMBERT Academic Publishing, AV Akademikerverlag, GmbH & Co. KG – Saarbrûcken, 2013. – 125 с.
9. Жараспаев М.Т., Ким Д.С. Факторы, способствующие возникновению и развитию аварий на атомных реакторах. // Вестник КазНТУ им К.И. Сатпаева. – 2008. – № 6. – С. 87–90.
10. Baba M. Fukushima Accident: What happened. // Proceedings of the 7th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring. – Oarai, Japan: Chyoda Technol Corporation, 2011. – P. 135–144.
11. Юрченко Д.С. Опыт эксплуатации реактора на быстрых нейтронах БН-350 (1972-1999) // Доклад ФЭИ. – Обнинск, 2004. – С. 123.
12. Касенов К.М., Жумагулова Р.Е., Ким Д.С. Радиационная экологическая обстановка в Японии через два года после аварии на АЭС «Фукусима-1» // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2013. – №3. – С. 317–327.
13. Гигиенические нормативы и Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утверждённые Постановлениями Правительства Республики Казахстан от 3 февраля 2012 года №№ 201 и 202. – Астана: Министерство здравоохранения РК, 2012.
14. В Казахстане оценили затраты на строительство АЭС //Российское атомное сообщество. – http://www.atomic-energy.ru/news/2013/02/01/38638
15. Энергетика Казахстана // Теоретические основы электротехники и электроники. – http://www.bourabai.ru/toe/kazenergy.htm

Поступила 23 сентября 2015 г.

УДК: 533.9.004.14; 621.039.6

ПЛАЗМЕННО-ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Мессерле В.Е.[1,3], Устименко А.Б.[2,3]

[1]Институт проблем горения, [2]НТО Плазмотехника, [3]Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

e-mail: ust@physics.kz

В статье показаны преимущества использования плазменно-топливных систем, заключающиеся в повышении эффективности сжигания энергетических углей и сокращении выбросов оксидов азота и мехнедожога топлива. В плазменно-топливной системе – пылеугольной горелке, оснащенной электродуговым плазмотроном, осуществляется термохимическая подготовка угля к сжиганию. В плазменно-топливной системе из исходного угля получают высокореакционное двухкомпонентное топливо (горючий газ + коксовый остаток), самовоспламеняющееся в топке котла. К настоящему времени плазменно-топливные системы испытаны на котлах Усть-Каменогорской ТЭЦ, Алматинских ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3. Исследованы плазменно-топливные системы на котлах с системами пылеприготовления с прямым вдуванием пыли (Шахтинская ТЭЦ и Алматинская ТЭЦ-2) и промежуточным бункером пыли (Усть-Каменогорская ТЭЦ и Алматинская ТЭЦ-3).

Ключевые слова: *Плазменно-топливная система, уголь, плазменная термохимическая подготовка угля к сжиганию, пылеугольный котел*

Мақала плазмалық-отын жүйелерін пайдалана отырып, артықшылықтары көрсетеді, жанып көмір энергия тиімділігін арттыру және азот оксидтері және отын компаниясының көміртегі шығарындыларын азайту болып табылады. Плазмалық-отын жүйесі - электр доғалық плазмотрона жабдықталған шаң оттық, жану көмір термохимиялық дайындау жүргізіледі. Жоғары реактивті екі компонентті отын (отын газ + кокс) алынған бастапқы көмір, қазандық пеште самовоспламеняющиеся бастап плазмалық-отын жүйесі. Бүгінгі күні, плазмалық-отын жүйелері қазандық Өскемен ЖЭО, Алматы ЖЭО-2 және ЖЭО-3 тексеріледі. Шаң тікелей бүрку (Шахтинская Алматы ЖЭО және 2-ЖЭО) және аралық хоппер шаң (Өскемен ЖЭО және Алматы ЖЭО-3) көмір дисперсиясы жүйелерімен туралы қазандықтарында дерексіз плазмалық-отын жүйелер.

Тірек сөздер:*плазмалық-отын жүйесі, көмір, көмір, Ұсақталған көмір қазанды жағуға арналған плазмалық термохимиялық дайындау.*

It is shown that the use of plasma-fuel systems for coal-fired boilers more efficient for combustion of power coal, while reducing nitrogen oxides and unburned carbon. The plasma-fuel system – pulverized coal burner equipped with electric arc plasma torch, carried thermochemical preparation of coal for combustion. Inside the plasma-fuel system highly reactive two-component fuel (fuel gas + coke) is prepared from the original coal. It ignites spontaneously in the boiler furnace. By now plasma-fuel systems for oil free boiler start-up have been tested at boilers of Ust-Kamenogorsk thermal power plant (TPP), Almaty TPP-2 and TPP-3. Plasma-fuel systems are studied in the boilers with coal pulverization systems with direct injection of

dust (Shakhtinskaya Almaty CHP and CHP-2) and the intermediate hopper dust (Ust-Kamenogorsk CHP and Almaty CHP-3).

Keywords: *Plasma-fuel system, coal, plasma thermochemical preparation of coal for combustion, pulverized coal boiler.*

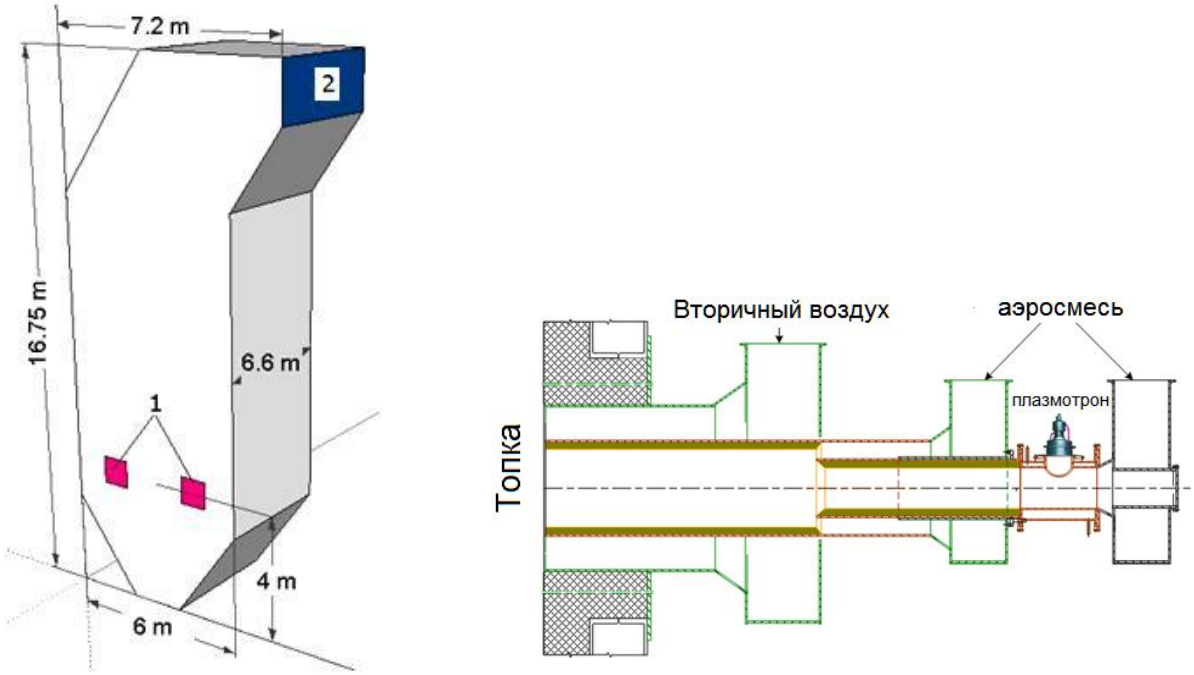
Мировая энергетика в настоящее время и на обозримую перспективу (до 2100 г.) ориентирована на использование органического топлива, главным образом низкосортных углей, доля которых в выработке электроэнергии составляет 40%, а тепловой – 24%. В этой связи повышения энергоэффективности пылеугольных тепловых электростанций является приоритетной задачей современной теплоэнергетики. Рассматриваемые плазменно-топливные системы (ПТС) для безмазутной растопки котлов, подхвата и стабилизации горения пылеугольного факела отвечают этим требованиям. В последнее время актуальность этой плазменной технологии возрастает еще больше в связи с истощением запасов нефти и газа, снижением качества твердых топлив и замедлением прироста мощностей АЭС.

В настоящей работе представлены результаты цикла исследований и применения прямоточных, вихревых и муфельных ПТС на пылеугольных котлах Усть-Каменогорской ТЭЦ, Шахтинской ТЭЦ, Алматинской ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 (Казахстан). Исследованы ПТС на котлах с системами пылеприготовления с прямым вдуванием пыли (Шахтинская ТЭЦ и Алматинская ТЭЦ-2) и промежуточным бункером пыли (Усть-Каменогорская ТЭЦ и Алматинская ТЭЦ-3) [1-6].

В основе технологии плазменного воспламенения угля и реализующих ее ПТС лежит электротермохимическая подготовка топлива к сжиганию (ЭТХПТ). Суть ЭТХПТ заключается в нагреве плазменным факелом при дефиците кислорода потока пылеугольной смеси в специальной камере до температуры, превышающей температуру самовоспламенения данного угля. При этом происходит практически полный выход летучих и частичное сгорание и/или газификация углерода угля. В результате в топке полученная топливная смесь или высокореакционное двухкомпонентное топливо (ВДТ), состоящее из горючего газа и коксового остатка, воспламеняется при смешении с вторичным воздухом и устойчиво горит без использования для стабилизации факела второго вида высокореакционного топлива (газа или мазута) даже в холодной топке. Процесс ЭТХПТ осуществляется в ПТС.

Рассмотрим процесс ЭТХПТ на примере котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ (рисунок 1), оснащенного вихревой ПТС. Четыре горелки установлены по две с фронта и с тыла в один ярус (рисунок 1а). В котле сжигается каменный уголь зольностью 30 % с расходом через горелку (или ПТС) 3200 кг/ч. Расход первичного воздуха через горелку – 6400 кг/ч, мощность плазмотрона – 200 кВт и длина ПТС (рисунок 1б) – 2,3 м. Численное моделирование процесса ЭТХПТ в ПТС выполнено с помощью одномерной математической модели Plasma-Coal [1, 2]. В ней детально рассматриваются аэродинамика, теплообмен и кинетический механизм термохимических превращений топлива в двухфазном потоке с плазменным источником. Результаты расчетов по модели позволили определить геометрические размеры ПТС, необходимую мощность плазмотрона, температуру, скорость и состав продуктов ЭТХПТ (таблица 1). Эти результаты использовались в качестве начальных условий для трехмерного численного моделирования горения ВДТ в топке котла БКЗ-75 с использованием программы Cinar ICE [3, 5, 6]. Результаты 3D моделирования показали, что при работающих ПТС воспламенение пылеугольного факела начинается

раньше, фронт горения смещается к месту установки ПТС в топке котла, что приводит к снижению температуры отходящих газов, концентрации в них оксидов азота и мехнедожога топлива, по сравнению с традиционным режимом сжигания угля без плазменной активации горения.



а **б**

Рисунок 1 – Общий вид топки котла БКЗ-75 паропроизводительностью 75 т/ч (а) и ПТС (б): 1 – амбразуры для установки пылеугольных горелок, 2 – сечение поворотной камеры котла

Таблица 1 – Состав продуктов ЭТХПТ

Состав газовой фазы (об.% и кг/ч)								A^C, кг/ч	C^C, кг/ч
H_2	CO	CH_4	C_6H_6	CO_2	H_2O	N_2	O_2		
14.2	18.4	0.3	0.6	6.8	2.9	56.4	0.3	1123.2	816.0
88.5	1599.0	14.0	133.8	931.2	162.8	4911	31.0		
Температура газа (^{O}C)			Температура частиц (^{O}C)			Скорость потока (м/с)			
1000			1000			189.4			

Результаты расчета приведены на рисунке 2, наглядно демонстрирующем различие полей температуры в трех режимах сжигания угля в топке, традиционном (рисунок 2а), с ЭТХПТ в двух ПТС (рисунок 2 б) и в четырех ПТС (рисунок 2в). В традиционном режиме четыре симметричных факела с максимальной температурой 1852 °С образуют в центральной области топки общее ядро факела с температурой около 1300°С. На рисунке 2б ПТС расположены сверху: влияние ПТС проявляется в изменении формы факела ВДТ, увеличении его длины и повышении максимальной температуры до 2102 °С. При работе четырех ПТС (рисунок 2 в) длина факелов возрастает еще больше, а максимальная

температура снижается до 1930 °С. По результатам моделирования котла БКЗ-75 выполнен проект его оснащения ПТС для безмазутной растопки и стабилизации горения пылеугольного факела.

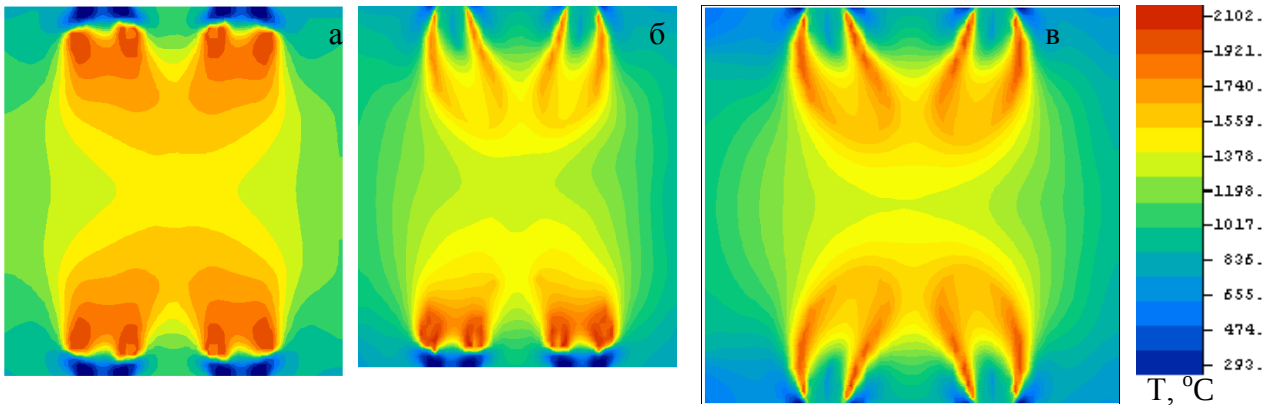


Рисунок 2 – Поле температур в поперечном сечении топки в плоскости расположения горелок при традиционной работе (а), с использованием двух ПТС (б) и четырех ПТС (в)

Котел ЦКТИ-75 Усть-Каменогорской ТЭЦ (рисунок 3) оснащен тремя основными турбулентными пылеугольными горелками и двумя растопочными муфельными горелками, в которые были встроены ПТС.

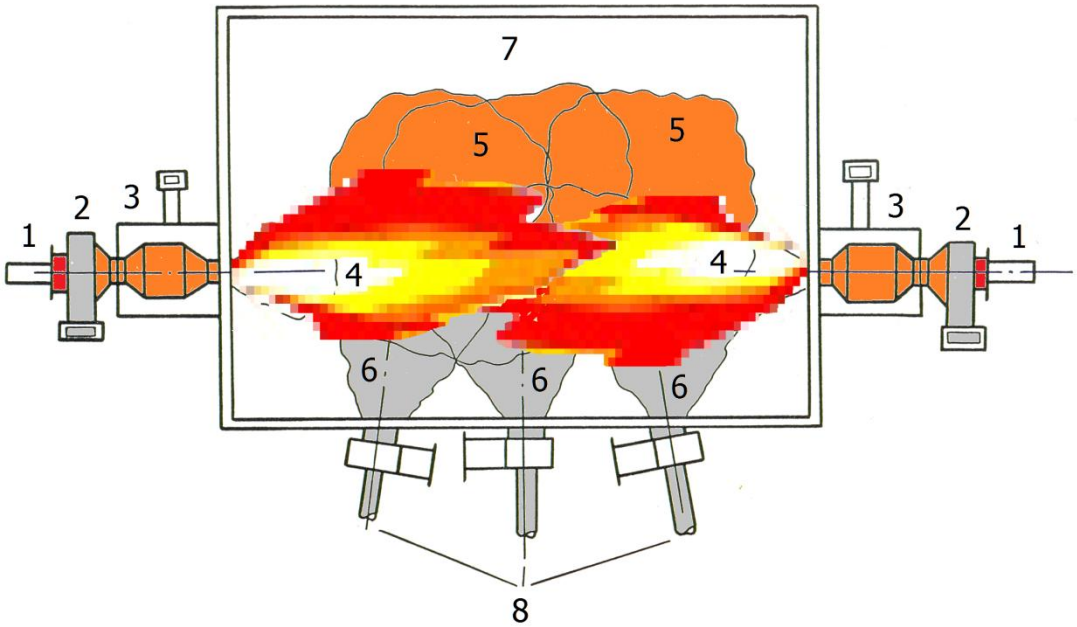


Рисунок 3 – Вид в плане топочной камеры котла ЦКТИ-75 паропроизводительностью 75 т/ч Усть-Каменогорской ТЭЦ с ПТС: 1 – плазмотрон, 2 – камера ЭТХПТ, 3 – муфельная горелка, 4 – факел ВДТ из ПТС, 5 – пылеугольный факел, 6 –аэросмесь из основных горелок, 7 – топка, 8 – основные пылеугольные горелки

На котле сжигался Кузнецкий каменный уголь зольностью 17,7 % и теплотой сгорания 4878 ккал/кг. В процессе испытаний ПТС на этом котле установлено, что расход угольной пыли через каждую ПТС составляет 1,5 т/ч, а первичного воздуха – 2,6 т/ч. При этом расход

угольной пыли через основные горелки составляет 11,5 т/ч. Мощность плазмотрона варьировалась от 60 до 70 кВт, а его тепловой КПД составлял 85–86 %. Температура факела ВДТ на выходе из ПТС изменялась в интервале 1040-1240 ºС. Относительные затраты на плазмотрон составляли 0,5 – 0,7 % от тепловой мощности муфельной горелки, концентрация NOx на выходе из ПТС не превышает 20 мг/нм^3 при выходе синтез-газа ($CO+H_2$) более 60 %. Через 35 мин. работы ПТС был достигнут стационарный тепловой режим муфельной горелки, после чего плазмотроны были отключены и горение факелов поддерживалось разогретыми муфелями. Длина факелов, выходящих из муфельных горелок, достигала 3 м. Безмазутная растопка котла продолжалась 3,25 ч, после чего котел был подключен к главному паропроводу ТЭЦ.

Котел БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3 оборудован четырьмя блоками двухярусных щелевых пылеугольных горелок (рисунок 4б). Расход Экибастузского угля зольностью 45 % и теплотой сгорания 3800 ккал/кг составлял 4 т/ч через каждую горелку. Две ПТС были установлены в нижнем ярусе горелок по диагонали (рисунок 4а) и включались на мощность 120-140 кВт (ток 350-450 А, напряжение 300-350 В). Воспламенение факелов в топке наблюдалось через 2-3 секунды после подачи угольной пыли с расходом до 3 т/ч через каждую ПТС. Температура пылеугольного факела на выходе из ПТС достигала 1200-1300 ºС, а его длина 5-6 м. При этих параметрах наблюдалось образование ядра факела ярко желтого цвета в центре топки. Через 3,5 часа от начала растопки параметры котла достигли рабочих значений, и он был подключен к главному паропроводу, после чего была подана аэросмесь на все горелки.

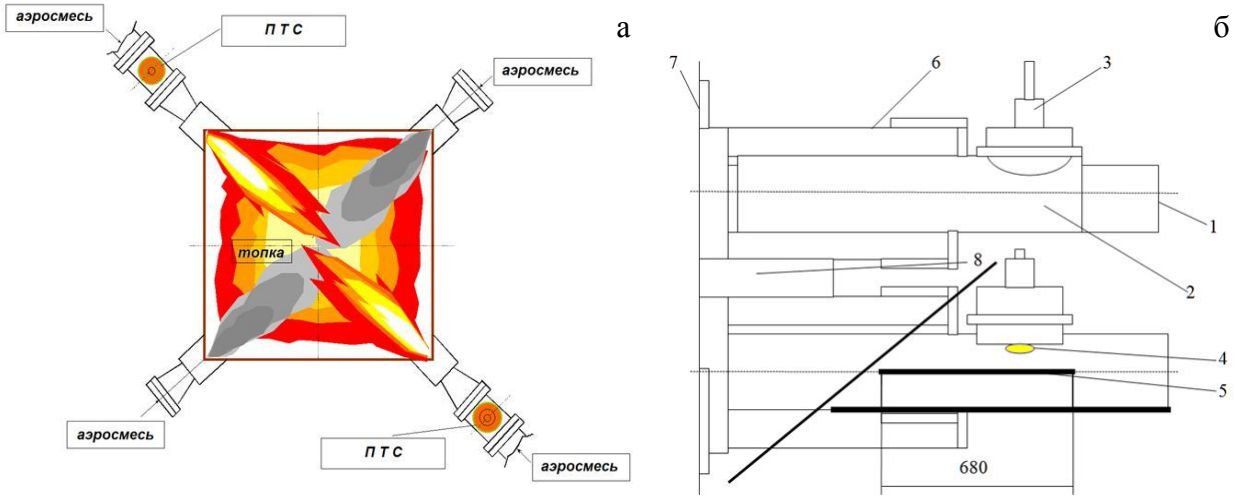


Рисунок. 4 – Схема топки котла БКЗ-160 паропроизводительностью 160 т/ч (а) и эскиз прямоточной ПТС - блока горелок с плазмотронами (б): 1 – пылепровод, 2 – камера ЭТХПТ, 3 – плазмотрон, 4 – плазменный факел, 5 – перегородка, 6 – короб вторичного воздуха, 7 – граница топки, 8 –канал для установки мазутной форсунки

Согласно нормативам на одну растопку расходуется 12 т топочного мазута, что по теплотворной способности эквивалентно 30 т Экибастузкого угля. Вместо этого на одну растопку в среднем расходовалось около 16,5 т угля, что подтверждает энергетическую эффективность ЭТХПТ. Относительные затраты электроэнергии на плазмотроны составили 1,2-1,4 % от тепловой мощности пылеугольных горелок.

Котел БКЗ-420 паропроизводительностью 420 т/ч Алматинской ТЭЦ-2 оснащен 6 пылеугольными вихревыми лопаточно-лопаточными горелками. Двухпоточные как по первичному, так и по вторичному воздуху горелки расположены с фронта котла в два яруса (рисунок 5). Номинальный расход Экибастузского угля зольностью 40 % и теплотой сгорания 4000 ккал/кг составляет 11 т/ч через одну горелку. 3 ПТС (рисунок 5б) устанавливались треугольником вверх вместо основных пылеугольных горелок (рисунок 5а).

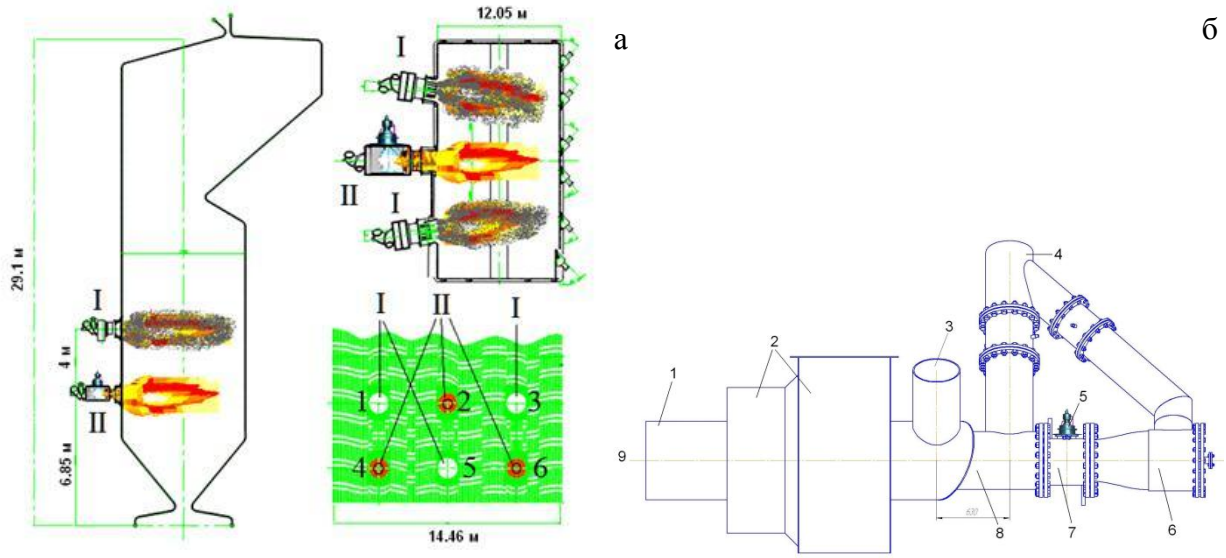
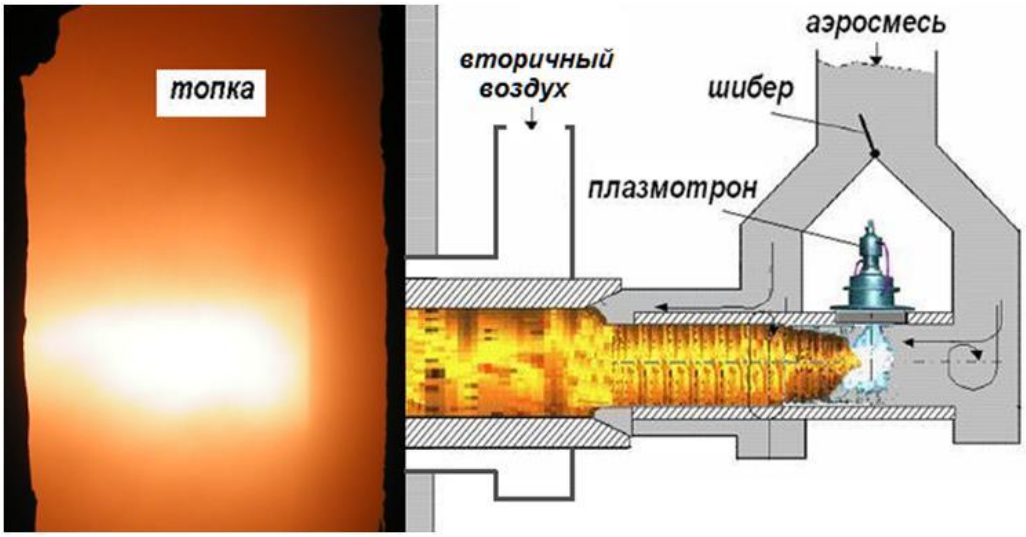


Рисунок 5 – Схема компоновки ПТС и основных пылеугольных горелок (а) и общий вид ПТС на котле БКЗ-420 АТЭЦ-2: 1 – штатная вихревая двухпоточная пылеугольная горелка, II – ПТС, 1 – канал внешнего потока аэросмеси, 2 – короб вторичного воздуха, 3 – подвод внешнего потока аэросмеси, 4 – подвод внутреннего потока аэросмеси, 5 – плазмотрон, 6 – камера подачи аэросмеси к плазмотрону, 7 – камера ЭТХПТ, 8 – камера смешения и термохимической подготовки топлива, 9 – топочное пространство

Во время испытаний был получен устойчивый пылеугольный факел (рисунок 6) от ПТС в холодной топке. В процессе испытаний ПТС по достижению необходимой концентрации пыли в аэросмеси наблюдалось воспламенение пылеугольного факела в холодной топке котла на выходе из горелок № 2, 4, 6 (рисунок 5а). Измерение температуры факелов через смотровые лючки цифровым пирометром показало, что сразу после воспламенения температура факелов составляла 700-800 ºС, повышаясь до 1050-1070 ºС. При этом в начале воспламенения наблюдались пульсации горящих факелов в топке, стабилизирующихся по мере ее прогрева и подачи 30-40 % вторичного воздуха на горелки № 2, 4, 6. Через 67 минут после плазменного воспламенения пылеугольных факелов температура первичного воздуха составила 75 ºС, температура в барабане – 143^0С, температура газов за топкой – 192 ºС. Скорость повышения температуры горячего воздуха при этом составляла около 1,5 град./мин, что соответствует скорости повышения температуры при мазутной растопке котлоагрегата.

Моделирование и испытания ПТС на действующих пылеугольных котлах ТЭС подтвердили техническую реализуемость, экологическую и энергетическую эффективность безмазутной растопки котлов и стабилизации горения пылеугольного факела с использованием ПТС.



б

Рисунок 6 – Вид факела от ПТС №4 через смотровой лючок в боковой стенке котла (35 минута после плазменного воспламенения пылеугольного факела в горелке №4)

Литература:

1. Калиненко Р.А., Левицкий А.А., Мессерле В.Е., Полак Л.С., Сакипов З.Б., Устименко А.Б. Электротермохимическая подготовка низкореакционных углей. Математическая модель и эксперимент. // *Химия высоких энергий*. – 1990. – Т. 24. – № 3. – С. 272-277.
2. Даутов Г.Ю., Тимошевский А.Н., Урюков Б.А., …, Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С., Устименко А.Б. Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии: Проблемы и перспективы (Плазменно-энергетические технологии для улучшения экологических и экономических показателей сжигания и газификации пылевидного угля) // *Низкотемпературная плазма.* – 2004. – *Т. 20*. – С.341 –366.
3. Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma-aided solid fuel combustion. // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2007. – Vol. 31, Part II. – P. 3353 – 3360.
4. Карпенко Е.И., Карпенко Ю.Е., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Использование плазменно-топливных систем на тепловых электрических станциях России, Казахстана, Китая и Турции. // *Химия высоких энергий*. – 2009. –Т. 43. – № 3. – С. 271 –275.
5. Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Тютебаев С.С., Лукьященко В.Г., Шевченко В.Н., Степанов И.Г., Умбеткалиев К.А., Нагибин А.О., Козак В.Н., Карпенко Е.И., Лобыцин С.В. , Карпенко Ю.Е. Применение плазменного воспламенения твердых топлив на Алматинской ТЭЦ-2. // *Вестник КазНУ им.аль-Фараби. Серия химическая*. – 2011. – № 3. – С.168–172.
6. Messerle V.E., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma Assisted Power Coal Combustion in the Furnace of Utility Boiler: Numerical Modelling and Full-Scale Test // *Fuel*. – 2014. – Vol. 126. – P. 294 – 300.

Поступила 5 октября 2015 г.

УДК 544.522.12

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Нурахметов Т.Н., Ногай А.С., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.А.
Евразийский Национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан
e-mail: nurakhmetov_tn@enu.kz, nogay06@mail.ru

В статье приведены результаты синтеза и спектрального исследования квантовых точек широкозонных полупроводников. Измерены спектры люминесценции в квантовых точках CdS, CdSe синтезированных растворным методом. Исследования показали, что квантовые точки CdS, CdSe, а также комплексы этих точек в растворе гептана и на полимерной основе поглощают видимый и ультрафиолетовый спектр солнечного излучения и излучает в красной области спектра. Эти результаты позволяют заключить, что использование данных образцов в фотоэлектрических преобразователях (ФЭП) солнечной энергии позволят получить дополнительную генерацию энергии, т.е. повысить коэффициент полезного действия (КПД) действующих солнечных батарей (СБ).

Ключевые слова: *квантовые точки CdS, CdSe, люминесценция, спектры люминесценции, спектры полос возбуждения, солнечные батареи*

Мақалада кең зоналы жартылай өткігіштердің кванттық нүктелерінің спектральді зерттеулі әәне синтездеу нәтижелері көрсетілген. Еріткіш әдіспен синтезделген CdS, CdSe, кванттық нүктелерінде жарық спектрлерін өлшенеді. Зерттеулер CdS, CdSe кванттық нүктелері, сонымен қаттар бұл нүктелердің жиынтығы гептан еріткішінде және полимерлі негізде көрінетін және ультракүлгін күн шағылысы спектрін жұтады және қызыл аймақ спектрінде шығаратының көрсетті. Бұл нәтижелер күн энергиясының фотоэлектрлі түрлендіргіштердінде (ФЭТ) берілген үлгілерді қолдану қосымша энергия генерациясын алуға, яғни әсер етуші күн батареяларының (КБ) пайдалы әсер коэффицентін (ПЭК) арттыруға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: *CdS, CdSe кванттық нүктелері, жарықтану, жарық спектрі, қоздыру жолағы спектрлері, күн батареялары*

The results of synthesis and spectral studies of quantum dots wide bandgap semiconductors. The spectra of luminescence in quantum dots CdS, CdSe synthesized by the solution method. Studies have shown that quantum dots CdS, CdSe, as well as complexes of these points in heptane solution and a polymer-based absorb visible and ultraviolet spectrum of the solar radiation and emits in the red spectral region. These results suggest that the use of these samples in photovoltaic cells (solar cells), solar power will provide additional energy generation, i.e, increase the coefficient of performance of existing solar batteries.

Keywords: *quantum dots CdS, CdSe, luminescence spectra of luminescence spectra of excitation bands, solar panels*

Солнечная энергетика (фотовольтаика) ─ одна из наиболее быстрорастущих отраслей мировой экономики. Большой потенциал роста отрасли и альтернативной энергетики вообще обусловлен такими глобальными факторами, как необходимость обеспечения национальной

энергобезопасности, растущая озабоченность экологическими последствиями использования ископаемых источников энергии, а также их устойчивое удорожание. Солнечная энергетика имеет и ряд уникальных преимуществ: энергия солнца доступна всем, бесплатна, практически неисчерпаема, а процесс ее преобразования в электрическую энергию оказывает относительно небольшое воздействие на окружающую среду. Ожидается, что в ближайшие 20 лет солнечная фотоэнергетика создаст более 2 млн рабочих мест, сократит выбросы парниковых газов в атмосферу на 350 млн т CO_2, что эквивалентно остановке 140 угольных электростанций. Общая мощность солнечной фотоэнергетики к 2030 г. превысит 650 GW. Общая мощность солнечной фотоэнергетики к 2030 г. превысит 650 GW [1, 2].

В настоящее время 80 % солнечных электростанций – СЭ, превращающих прямое (не концентрированное) солнечное излучение с эффективностью в пределах 12 – 21 %, изготавливают из монокристаллического, поликристаллического или аморфного кремния. Одним из основных факторов, сдерживающих развитие сектора, является относительно высокая пока еще стоимость энергии (по сравнению с традиционными и другими альтернативными источниками), выработанной «солнечными» фотопреобразователями или солнечными батареями (СБ). Снижение стоимость энергии можно обеспечить путем повышения коэффициента полезного действия (КПД) солнечных батарей. В этой связи актуальным является поиск методов повышения эффективности работы существующих солнечных фотопреобразователей (СФП). Известно, что наиболее эффективно можно повысить КПД работы солнечных фотопреобразователей можно, за счет создания на этих приборах квантовых точек, способствующих генерации дополнительной электроэнергии и тем самым приводящих повышению знегоэффективности СФП [1].

В настоящее время высокоэффективные ФЭП изготавливают на основе многопереходных (каскадных) гетероструктур, которые выращиваются методами молекулярно-пучковой эпитаксии или эпитаксии из газовой фазы, которая содержит металло-органические соединения.

Альтернативой создания каскадных многопереходных СЭ является создание однопереходных концентраторных фотоэлектрических преобразователей (КФЭП) на основе наногетероэпитаксиальных структур (НГЭС) с квантовыми точками (КТ). Теоретический анализ показывает, что утилизация длинноволновой и коротковолновой части спектра солнечного излучения с помощью КТ позволяет достичь эффективности СЭ близким к термодинамической границе (до 84 %).

В настоящее время установлено, что ФЭП чувствительны только к дальней красной области солнечного излучения. Это значит, что только 70 % солнечного излучения приходятся на видимую или ультрафиолетовую область спектра и являются не активными для ФЭП. Поэтому для эффективного использования видимого и ультрафиолетового диапазона солнечного излучения, лучше использовать люминесцентные преобразователи. С помощью них можно преобразовывать ультрафиолетовое и видимое солнечные излучения в красное свечение, которое эффективно преобразовывается в ФЭП в электрическую энергию.

В качестве люминесцентных преобразователей можно использовать различные квантовые точки в растворе, внедренные в полимерные матрицы или пористые оксиды металлов. В настоящее широко исследуются квантовые точки на основе широкозонных полупроводников CdS, CdSe и CdTe для использования в оптических приборах. Известно, что ширина запрещенной зоны квантовых точек CdS, CdSe и CdTe зависят от их размера. Эти квантовые точки растворяются в специальных растворах, наносятся на пластины и внедряются на

полимерные поверхности. Поэтому нами были выбраны в качестве объектов исследования квантовые точки CdS, CdSe для изучения возможности преобразования ультрафиолетового и видимого солнечного излучения в красное свечение, которое может повысить эффективность работы солнечных ФЭП, за счет создания дополнительных электронно-дырочных пар.

Целью работы является создание квантовых точек в составе СФП для повышения эффективности генерации электроэнергии СБ, а также за счет подбора оптимального антиотражающего материала и ее толщины для покрытий обсуждаемых приборов.

Методика эксперимента. Синтез квантовых точек CdS, CdSe проводился растворным методом и были внедрены в полимерные матрицы. Варьируя условия синтеза можно получать нанокристаллы различной формы. В частности, варьируя составом прекурсоров можно получать нанокристаллы нужной формы. При проведении синтеза образцов использовался опыт работ [3], где описано получение кристаллов в виде стержней и тетраподов, а также отмечалось о создании квантовых точек CdTe размером 3 – 4 нм, который увеличивался при увеличении времени синтеза.

В представленной работе исследовались синтезированные нами квантовые точки на предмет применения их для преобразования УФ излучения и видимой части солнечного излучения в красном спектре. Измерялись спектры люминесценции синтезированных нанокристаллов сульфида и селенида кадмия. Представленные в работе спектры люминесценции построены с учетом спектральной чувствительности фотоумножителя.

Для изучения спектров возбуждения фотолюминесценции монохроматор настраивался на длину волны, соответствующую максимуму полосы свечения. В качестве источника возбуждения использовалась галогенная лампа, излучение которой разлагалось в спектр при помощи монохроматора спектрофотометра С-4А. Постоянство энергии возбуждающего света на разных длинах волн обеспечивалось изменением ширины щелей монохроматора.

Измерения спектров люминесценции проводились на нанокристаллических пленках представляющих собой нанокристаллы в гептане и на полимерной пленке.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Нами измерены спектры люминесценции синтезированных квантовых точек CdS, CdSe возбужденных ультрафиолетовыми фотонами с длиной волны 320 нм при комнатной температуре. На рисунке 1 представлены спектры люминесценции нанокристаллов CdS.

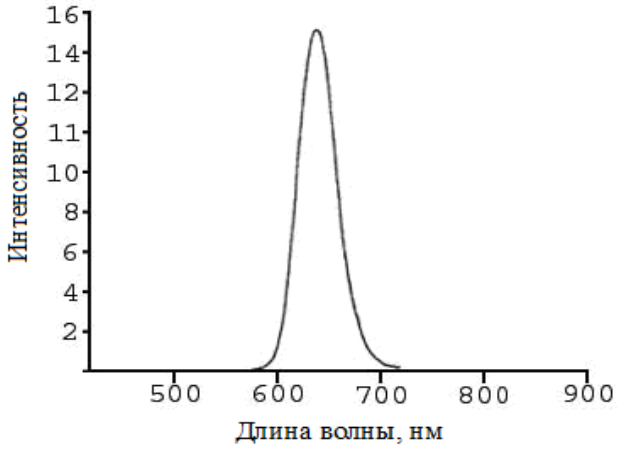


Рисунок 1 – Спектры лиминисценции квантовых точек CdS

Экспериментальные данные показанные на рисунке 1 показывают, что появляется полоса излучения с максимумом при 635 нм при комнатной температуре. Спектр полосы возбуждения для CdS приведен на рисунке 2. Согласно данным рисунка 2 максимум широкой полосы возбуждения для CdS располагается в ультрафиолетовой и видимой области спектра.

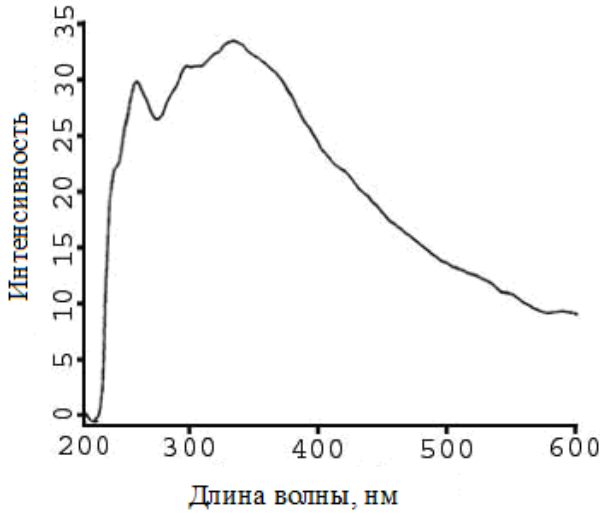


Рисунок 2 – Спектры возбуждения полосы лиминисценции 638 нм квантовых точек CdS

На рис. 3 изображен спектр люминесценции квантовых точек CdSe возбужденных ультрафиолетовыми фотонами с длиной волны 380 нм при комнатной температуре. Представленные данные показывают, что для квантовых точек CdSe интенсивный максимум полосы свечения наблюдается при 605 нм.

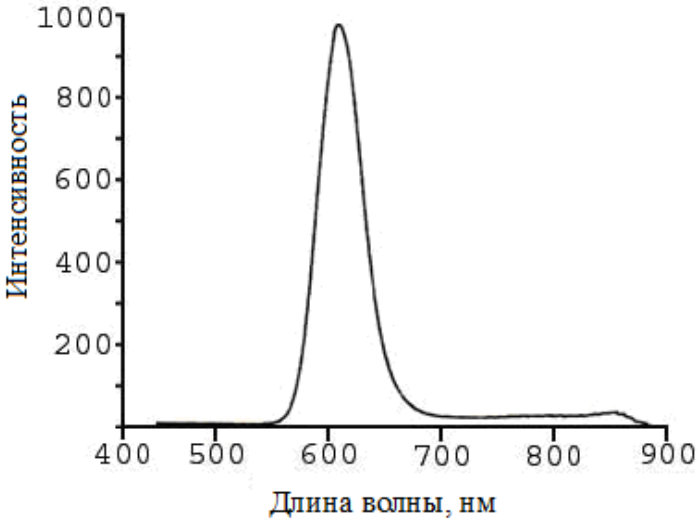


Рисунок 3 – Спектры лиминисценции квантовых точек CdSe

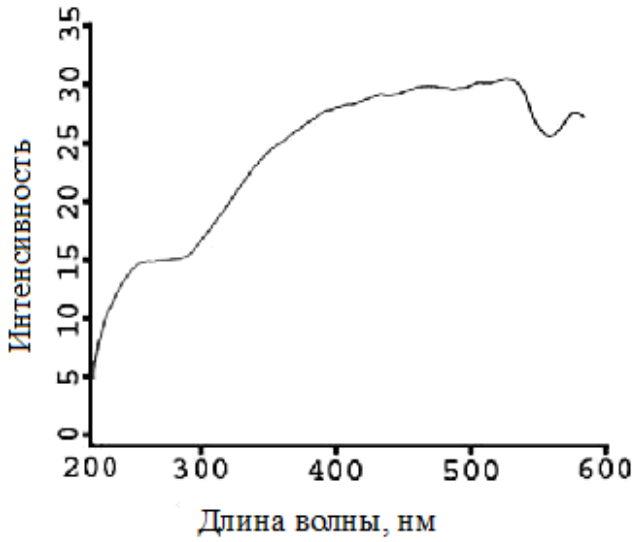


Рисунок 4 – Спектры возбуждения полосы люминисценции квантовых точек CdSe в гептане CdSe

На рисунке 4 изображен спектр возбуждения полосы люминесценции при 605 нм квантовых точек CdSe растворенных в гептагне.

Представленные экспериментальные данные показывают, что для синтезированных образов характерно влияние квантово-размерного эффекта, которая проявляется как в спектрах поглощения, так и в спектрах люминесценции, приводя к изменению длины волны люминесценции, которая соответствует энергии рекомбинации электрон-дырочной пары.

Однако спектр люминесценции всегда сдвинут относительно спектра поглощения в сторону длинных волн. Появление данного сдвига и его величина могут быть объяснены взаимной деформацией ядра и оболочки нанокристалла. Увеличение области локализации для носителей заряда приводит к смещению положения максимума в сторону больших длин волн.

Обнаруженные закономерности согласуются с данными работы [3], в котором из сравнительного анализа спектров возбуждения полос люминесценции нано- и монокристаллов A_2B_6 установлено, что длинноволновый край полосы возбуждения нанокристаллов существенно смещен в сторону более коротких длин волн по сравнению с аналогичным в монокристаллах [3]. В оптических свойствах квантово-размерный эффект проявляется как в спектрах поглощения, так и в спектрах люминесценции, приводя к изменению длины волны люминесценции, которая соответствует энергии рекомбинации электрон-дырочной пары. Такое смещение спектров возбуждения нанокристаллов A_2B_6 может повысить знегоэффективности работы СФП.

Таким образом, нами измерены спектры излучения и возбуждения квантовых точек CdS, CdSe растворенных в гептане. Установлено, что спектры собственной люминесценции исследуемых образцов находятся в красной области спектра с максимумами 638 и 605 нм соответственно. В тоже время спектры возбуждения систем CdS – гептан, CdSe – гептан, CdSe – полимер, т.е. излучения с максимумами 638 и 605 нм находятся в ультрафиолетовой и видимой области спектра. Излучения 638 и 605 нм возбуждаются в спектральном диапазоне солнечного излучения, т.е. в красном излучении с максимумами 638 и 605 нм могут эффективно возбуждаться солнечным светом. Предполагаем, что системы CdS – гептан,

CdSe – гептан, CdSe – полимер могут работать в качестве люминесцентного преобразователя солнечного излучения для полупроводниковых солнечных преобразователей.

Результаты экспериментов позволяют заключить, что в качестве люминесцентных преобразователей можно использовать различные квантовые точки CdS, CdSe в растворе, внедренные в полимерные матрицы. Известно, что ширина запрещенной зоны квантовых и спектральные характеристики точек зависят от их размера. Оценить же средний размер и дисперсию можно по спектру поглощения. Так, порог поглощения в прямозонных полупроводниковых квантовых точек с параболическими зонами электронов и дырок сдвигаются обратно пропорционально квадрату радиуса [5,6]:

$$h\omega = E_g + \frac{h^2\pi^2}{2\mu a^2},$$

где μ – приведенная масса электрона и дырки, *Eg*– ширина запрещенной зоны, *a* – радиус квантовой точки.

Разброс по размерам дает вклад в ширину линии поглощения. Поэтому в процессе синтеза квантовых точек можно регулировать спектральные характеристики поглощения и люминесценции.

Согласно предварительным экспериментам и оценкам по внедрению квантовых точек CdS в ФЭП, получено повышение КПД устройств на 6 – 10 %.

Заключение

Нами установлено, что в облученных светом квантовых точках CdS, CdSe в спектральной области солнечного излучения (УФ и видимой спектральной области) возникает свечение в красной области спектра. Энергия свечений квантовых точек CdS, CdSe, подведенная к фотоэлектронным преобразователям способна создавать дополнительные электронно-дырочные пары, что, в конечном счете, приведет к увеличению КПД СБ. Установлено повышение КПД ФЭП на 6 – 8 % при использовании квантовых точек CdS. Меняя размер квантовых точек можно подобрать оптимальную длину волны излучения, для эффективной работы конкретного фотоэлектронного преобразователя энергии.

Литература:

1. Jeger-Waldau A. PV Status Report 2012. – Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2012. – 45 p. EUR – Scientific and Policy Report series. – ISSN 1018–5593.
2. Jeger-Waldau A. PV Status Report 2013. – Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2013. – 58 p. EUR – Scientific and Technical Research series. – ISSN 1831–4155.
3. 3 Klimov V.I. Optical Nonlinearities and Ultrafast Carrier Dynamics in Semiconductor Nanocrystals // J. Phys. Chem. B. – 2000. – Vol.104. – P. 6112–6123.
4. Баранов А.В., Маслов В.Г., Орлова А.О., Федоров А.В.. Практическое использование наноструктур. – Санкт-Петербург, 2014. – 105 с.
5. Екимов А.И., Онущенко А.А. Квантовый размерный эффект в оптических спектрах полупроводниковых микрокристаллов. // Физика и техника полупроводников. – 1992. – Т. 16, Вып.7.– С. 1215–1223.

Поступила 8 октября 2015 г.

УДК 66.011:621.472:547.51

DEVELOPMENT OF ELECTROCONDUCTIVE MATERIALS BASED ON METALLIZED POLYIMIDES AS ELEMENTS OF FLEXIBLE SOLAR CELLS

Seifullin B., Ibraimbek A., Tolep E., Umbetova K., Iskakov R., Hegay V.
Chemical Engineerig School, Kazakh-British Technical University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
"White house" LLC, Almaty, Republic of Kazakhstan
e-mail: chem@kbtu.kz

The metallization process of the polyimide (PI) films has been studied so far. The produced films have electric and optical characteristics which can be used in production of organic solar elements. In addition to this, the process of obtaining organic solar cells has been considered. It is established that the optimum conditions for obtaining a transparent electrode are as follows: polyTEOS — poly(tetraethyleneoxide silane), in a solution of isopropanol, also for an active layer, P3HT (poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)/ PCBM ([6,6] - phenyl-C61-butyric acid methyl ester), for increasing power conversion efficiency.
Keywords: *polymer, solar elements, films, metallization, transparent electrode, active layer*

Көмізтегі (PI) фильмдер туралы металлизацией процесі әлі күнге дейін зерттелген. Өндірілген фильмдер органикалық күн элементтерін өндіру пайдаланылуы мүмкін электр және оптикалық сипаттамалары бар. Сонымен қатар, органикалық күн жасушаларын алу процесі қаралды. - Поли (tetraethyleneoxide Силан), изопропанола ерітіндісінде, сондай-ақ белсенді қабаты, P3HT (поли (3-hexylthiophene-2,5-diyl) үшін polyTEOS: Бұл төмендегідей ашық электрод алу үшін оңтайлы жағдай болып табылатыны белгіленеді / PCBM ([6,6] - фенил-C61-май қышқылы метил эфир), арттыру электр түрлендіру тиімділігі үшін.
Тірек сөздер: *полимер, күн элементтері, фильмдер, металлизация, мөлдір электрод, белсенді қабаты*

Изучен процесс металлизации полиимидов (ПИ). Полученные пленки показали электрические и оптические характеристики, подходящие для использования их в качестве гибких солнечных батарей. Дополнительно исследован процесс получения органических батарей. Установлено, что оптимальными условиями для получения прозрачных элементов являются следующие: полиТЭОС – поли(тетраэтококсисилан) в растворе изопропанола, активные слои P3HT (поли(3-гексилтиофен-2,5-диил)/ PCBM ([6,6] - фенил-C61-метиловый эфир бутиловой кислоты), с целью увеличения степени конверсии ультрафиолета.
Ключевые слова: *полимер, солнечный элемент, пленки, металлизация, прозрачный электрод: активный слой*

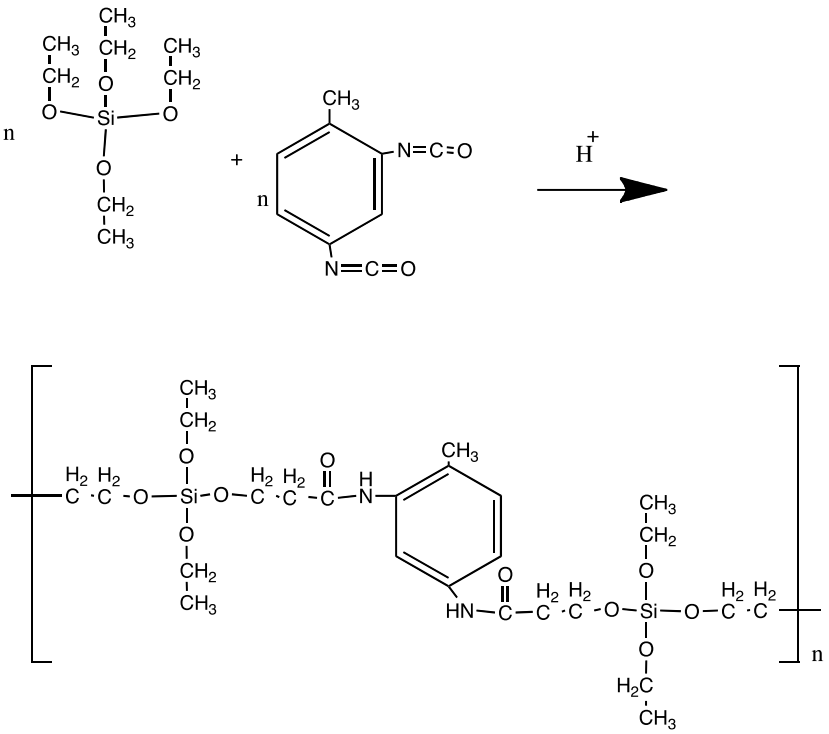
Introduction

An organic solar cell is a type of polymer solar cell that uses organic electronics, a branch of electronics that deals with conductive organic polymers or small organic molecules, for light absorption and charge transport to produce electricity from sunlight by the photovoltaic effect. The aim that the announced device is to solve is to design an organic solar element with high working characteristics due to the optimization of each stage [1]. An OLED (organic light-emitting diode) is a light-emitting diode (LED) in which the emissive electroluminescent layer is a film of organic

compound which emits light in response to an electric current. This layer of organic semiconductor is situated between two electrodes; typically, at least one of these electrodes is transparent [2]. OLEDs are used to create digital displays in devices such as television screens, computer monitors, portable systems such as mobile phones, handheld game consoles and PDAs. A major area of research is the development of white OLED devices for use in solid-state lighting applications.

Experiment

The process of obtaining organic solar cells has been considered. It is established that the optimum conditions for obtaining a transparent electrode are as follows: polyTEOS in a solution of isopropanol (6 vol %). Process of polyTEOS polymerization proceeds in acidic conditions on the surface of polyimide films as following:



The criteria for the quality of the transparent electrode, wherein the transmittance – above 90%, the sheet resistance – less than 100 (Ohm / square), corresponds to the thickness of electrode 126 nm (800 rpm) and optimum annealing temperature is 140 ^{o}C (Fig. 1.) [3, 4].

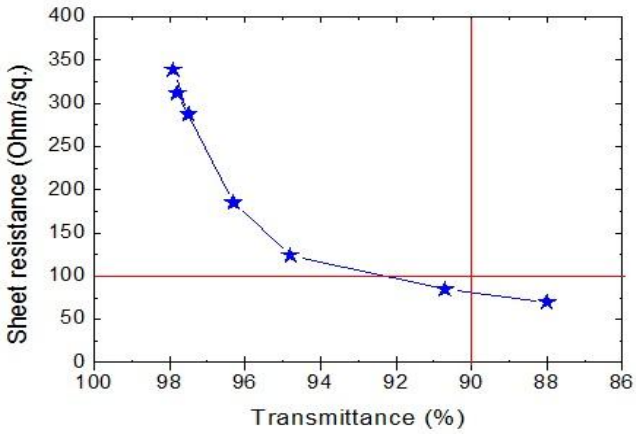


Fig. 1 – R_{sh} - T% characteristics of transparent electrode

Furthermore, the optimal conditions for a photo active layer are as follows: P3HT / PCBM in chloroform [5], the thickness of photo active layer is 86 nm (3500 rpm) and post-annealing temperature is 150 ºC (Fig. 2.). The optimization of all steps of the production of organic solar cell, resulting in increased power conversion efficiency to 3.3%.

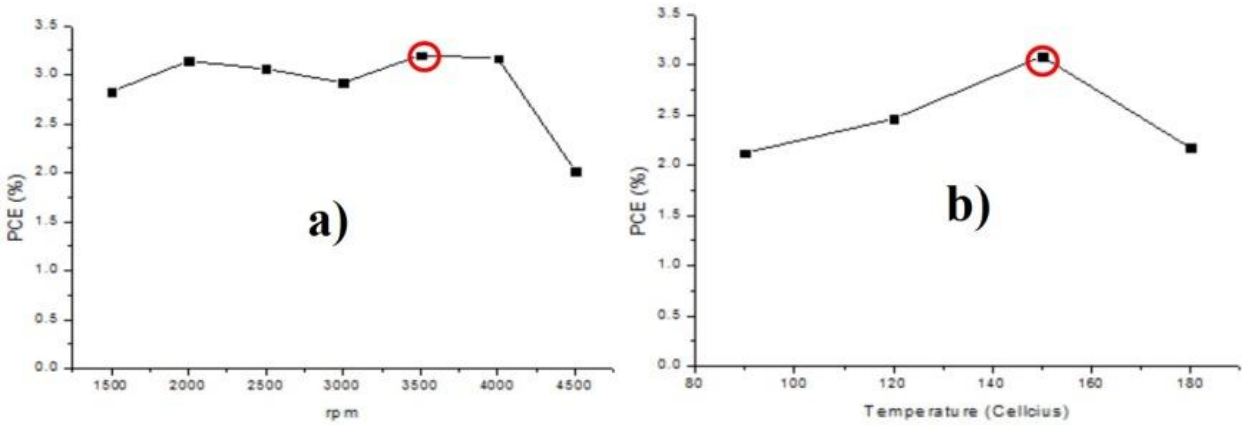


Fig. 2 –a) % - Thickness characteristics (a) and Temperature of photo active layer (b)

Metallization process

The metallization process of the polyimide (PI) films has been studied for far. The produced films have electric and optical characteristics which can be used in production of organic solar elements.

The polyimide (PI) film with pre-degreased surface was subjected to swelling in acetonitrile for 20 minutes [6]. Next step was an alkaline hydrolysis (Fig. 3) in 0.2 M KOH solution, wherein the mixture of water - isopropanol (20:1). PI film was kept in the alkaline solution for 20 minutes.

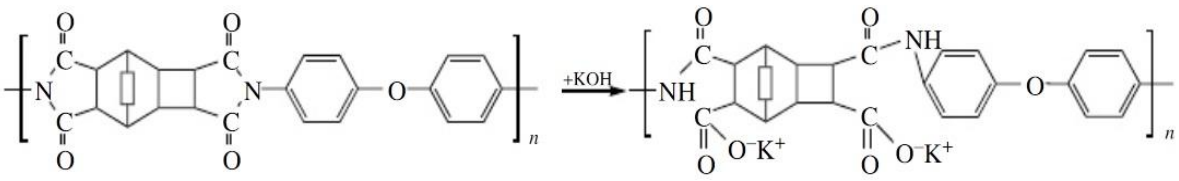


Fig. 3 – Alkaline hydrolysis

Then, PI film was washing with distilled water and was transferred to 3% solution of $AgNO_3$. Chelation process (Fig. 4) was performed for 30 minutes.

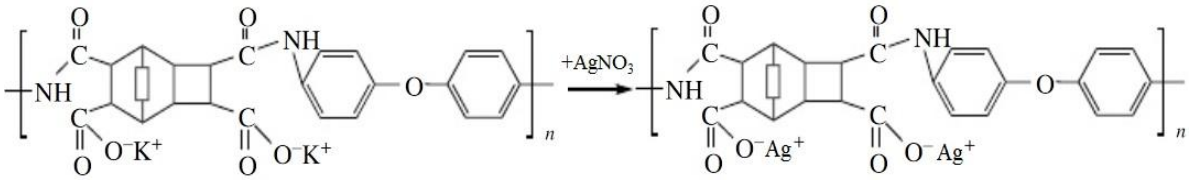


Fig. 4 – Chelation process

The last step was the reduction (Fig. 5) of silver, made with 0.1% $NaBH_4$ in solution isopropanol - water (1:20). The resulting samples were annealed at 85 °C for 4 hours [7].

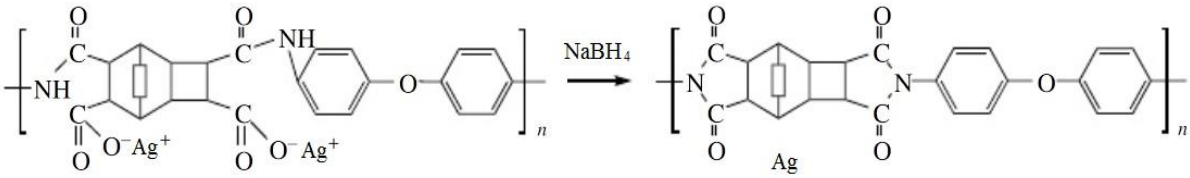


Fig. 5 – Reduction

Summary

The metallization of the polyimide (PI) films has been studied and investigated the optimal conditions for alkaline hydrolysis, chelation in the aqueous solution of a metal salt and reduction with a solution of sodium tetrahydroborate. Also, it shows that the thus obtained metal layers tightly impregnated polymeric substrate as the chemical plating on the PI film surface (Fig. 6).

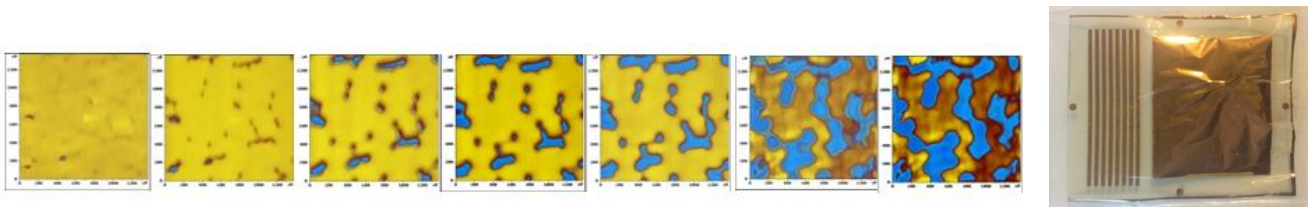


Fig.6 – The metallization process of the PI film

Metallized film obtained by this method have optical and electrical characteristics. The metallized polyimide film can be used in the manufacture of flexible organic solar cells.

References:

1. Hyosung Choi, Junghoon Lee, Wonho Lee, Seo-Jin Ko, Renqiang Yang, Jeong Chul Lee, Han Young Woo, Changduk Yang, Jin Young Kim Acid-functionalized fullerenes used as interfacial layer materials in inverted polymer solar cells // Org. Electron.– 2013. – Vol. – P. 3138–3145.

2. Nyberg T. An alternative method to build organic photodiodes // Synthetic Metals. – 2004. – Vol. 140. – P. 281–286.

3. Myung-Won Lee, M.-Y.L., Jae-Cheol Choi, Jong-Seung Park, Chung-Kn Song Fine patterning of glycerol-doped PEDOT:PSS on hydrophobic PVP dielectric with ink jet for source and drain electrode of OTFTs. // Organic Electronics. – 2010. – Vol. 11. – P. 854–859.

4. Jianyong Ouyang, Q.X., Chi-Wei Chu, Yang Yang, Gang Li, Joseph Shinar On the mechanism of conductivity enhancement in poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) film through solvent treatment // Polymer – 2004. – Vol. 45. – P. 8443–8450

5. Glatthaar M., Lewer P., Riede M., Hinsch A., Luther J. Organic solar cells using inverted layer sequence //Thin Solid Film – 2005. – Vol. 491. – P. 298–300.

6. Song S. Park, Jin Y., Park J., Shim J.Y., Kim I, Lee H., Lee K., Suh H. Synthesis and characterization of low-bandgap copolymers based on dihexyl-2*h*-benzimidazole and cyclopentadithiophene // Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. – 2010. – Vol. 48. – P. 4567–4573

7. J.Y. Kim, S.H. Kim, H.H. Lee, K. Lee, W. Ma, X. Gong, A.J. Heeger Advanced Materials, Vol. 18 (2006), P. 572–576.

Поступила 2 октября 2015 г.

УДК 697.311

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Смаилова У.Е., Алимова К.К.
Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: kkalimova@mail.ru

В статье проведен анализ условий теплового комфорта в производственных помещениях большого объема. Показано, что главной задачей при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха является создание условий для комфортного пребывания производственного персонала в помещении при наименьших затратах энергоресурсов. Выявлены показатели, характеризующие условия теплового комфорта в помещениях, такие как: температура воздуха; температура ограждающих поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения. Показаны основные преимущества систем отопления на основе газовых инфракрасных излучателей, позволяющие снизить затраты при обеспечении оптимальных условий теплового комфорта в помещениях.

Ключевые слова: *отопление, вентиляция, тепловые потери, температура, газовые инфракрасные излучатели*

Мақалада үлкен көлемді өндіріс бөлмелеріндегі жылу жайлылығының шарттары талданған. Жылу, желдету және ауа баптау жүйелерін жобалау кезіндегі басты мақсат энергоресурстарды барынша аз пайдалана отырып, өндірістік қызметкерлердің жайлылығын қамтамасыз ету екендігі көрсетілген. Бөлмелеріндегі жылу жайлылығы шарттарын сипаттайтын ауа температурасы, қоршау беттерінің температурасы, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы, ауаның қозғалыс жылдамдығы, жылу сәулеленуінің қарқындылығы сияқты көрсеткіштер айқындалған. Бөлмелеріндегі жылу жайлылығын оңтайлы қамтамасыздандыруда шығынды азайтуға мүмкіндік беретін газды инфрақызыл сәулелерге негізделген жылу жүйесінің басты артықшылықтары көрсетілген.

Тірек сөздер: *жылыту, желдету, жылу шығындар, температура, газ инфрақызыл жылытқыштар*

The article analyzes the conditions of thermal comfort in the premises of large volume. It is shown that the main objective in the design of heating, ventilation and air conditioning is to create conditions for the comfortable stay of the production staff in the room with the least expenditure of energy. Identified indicators that characterize thermal comfort conditions in areas such as: air temperature; Temperature enclosing surfaces; relative humidity; air velocity; the intensity of the thermal radiation. The basic advantages of heating systems based on gas infrared emitters that can reduce costs while providing optimal conditions for thermal comfort indoors.

Keywords: *heating, ventilation, thermal losses, temperature, gas infrared heaters*

Основной задачей при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха является создание условий для комфортного пребывания производственного персонала в помещении при наименьших затратах энергоресурсов.

К показателям, характеризующих условия теплового комфорта в помещениях, относятся: температура воздуха; температура ограждающих поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения [1]. Таким образом, основной задачей создания теплового комфорта является обеспечение соответствия фактических значений указанных параметров воздуха требуемым, для поддержания нормальных условий пребывания персонала в производственном помещении.

В общем случае, необходимо отметить, что на тепловой комфорт влияют следующие факторы:

- температура воздуха – $t_в$ (°С);
- температура ограждающих поверхностей – t_s (°С);
- скорость перемещения воздуха в помещении – v (м/с);
- тепловое сопротивление одежды – Rr (м^{2}х°С/Вт)
- уровень активности человека – Q (Вт);
- относительная влажность среды – φ (%).

Температура воздуха в помещении является первичным критерием оценки теплового состояния отапливаемого помещения, который с учетом скорости перемещения воздуха определяет конвекционную передачу теплового потока от человека к окружающему пространству.

Отопление должно обеспечить, при скорости движения воздуха $v \leq 0{,}1$ м/с, средней температуре окружающего воздуха $t_в$=18÷20 °С и относительной влажности среды φ=30÷70%, такое вертикальное распределение воздуха в помещении, при котором температура на уровне высоты головы человека (приблизительно 1,7 м над полом) была бы примерно на 2 °С ниже, чем на уровне 10 см над полом. При этом разница температур стен и пола и температуры воздуха составляла не более 7°С, если человек находится в состоянии покоя, и не более 10 °С, если он активно двигается.

Среднее арифметическое эффективной температуры стен и температуры воздуха в помещении (t_i) называют внутренней температурой в помещении, которая измеряется в геометрическом центре помещения на высоте 1 м от пола, что соответствует центру тяжести стоящего человека.

Остальные условия теплового комфорта в помещении принадлежат к более широкому набору микроклиматических факторов, напрямую не связанных с функциями систем отопления:

- наличие частиц пыли в воздухе;
- наличие микроорганизмов или бактерий;
- наличие газов, испарений и запахов разного типа;
- содержание ионов в воздухе.

Для обеспечения условий теплового комфорта в здании (сооружении) выполняют расчет потребления тепла и тепловой характеристики зданий с учетом:

- тепловых потерь, регламентированных СНиП для температуры воздуха внешней среды в зависимости от климатического района и материалов ограждающих конструкций;
- характеристик смежных строений объекта.

Одним из источников тепловой энергии, наиболее рационально обеспечивающим тепловой комфорт в помещении, является инфракрасное излучение, которое генерируется любым нагретым телом с определенной интенсивностью и спектром излучаемой электромагнитной энергии.

Количественной характеристикой инфракрасного излучения является интенсивность теплового излучения – энергия, излучаемая с единицы площади в единицу времени (ккал/(м^{2}хч) или Вт/м^2). В зависимости от длины волны изменяется проникающая способность инфракрасного излучения. Наибольшую проникающую способность имеет коротковолновое инфракрасное излучение (0,76÷1,4 мкм), которое проникает в ткани человека на глубину в несколько сантиметров. Инфракрасные лучи длинноволнового диапазона (9÷420 мкм) задерживаются в поверхностных слоях кожи.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, открытое пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м^2, при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз [2].

Несмотря на знание гигиенических и биологических особенностей воздействия инфракрасного излучения, в отечественной и зарубежной научно-технической литературе практически отсутствуют систематизированные данные, характеризующие системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями, с точки зрения теплотехники и гигиены. Для этих систем целесообразно проведение натурных исследований, так как при этом могут более отчетливо проявиться их достоинства и недостатки, определиться оптимальные параметры микроклимата, уточниться методики расчета этих систем, а также могут быть внесены коррективы в нормативные требования.

Учитывая то обстоятельство, что тепловые ощущения зависят не только от температуры воздуха, одним из способов повышения теплового комфорта в помещении становится увеличение доли лучистого тепла, отдаваемого нагревательными приборами. Необходимо также учитывать тот факт, что теплообмен между телом человека и окружающей его средой происходит одновременно несколькими способами: излучением, конвекцией и испарением, поэтому он не может зависеть только от температуры воздуха. Изучение явлений теплообмена привело к понятию о результирующей температуре, служащей критерием тепловых ощущений в окружающей среде, с учетом всех переменных условий, характеризующих среду, физиологическое состояние человека и защитные свойства его одежды.

Теплоотдача телом человека зависит, при определенном характере его деятельности и одежды, от следующих факторов:

1. От температуры ограждающих конструкций t_s.
2. От температуры воздуха $t_в$.
3. От степени влажности e .
4. От скорости движения воздуха v.

Критерием тепловых ощущений является результирующая температура t_R, создающая такое же тепловое ощущение, как когда температура ограждений равна температуре воздуха, а воздух неподвижен и обладает 100 % - ной относительной влажностью.

Результирующую температуру можно выразить формулой:

$$t_R = f(t_s, t_в, e, v)$$

В среде, имеющей указанные выше характеристики, $t_s=t_в$, e=100 %, v=0, $t_R=t_s=t_в$

Отопление высоких с большими объемами промышленных помещений усложняется тем, что нагретый воздух поднимается вверх, создавая мощные конвективные потоки, а нижняя рабочая зона, где находится персонал и требуется больше тепла, нагревается меньше. Это приводит к тому, что помещения начинают обогреваться воздухом сверху вниз.

Крыши помещений, как правило, имеют наихудшие теплоизоляционные показатели, которые еще больше снижаются аэрационными фонарями, что приводит к увеличению тепловых потерь через кровлю и верхний пояс стен по периметру здания. Экспериментальные измерения показывают, что под крышей температура достигает 25÷35 °С, в то время как на полу температурный комфорт практически отсутствует. Иначе говоря, при внешней температуре от –5 ÷ –15 °С результирующая температура воздуха в зоне пребывания человека составляет от 0÷10 °С. Инфракрасные излучатели позволяют избежать подобного нерационального распределения температуры независимо от высоты помещения, поскольку нагревают не воздух, а передают тепло поверхностям предметов.

Параметры микроклимата на обогреваемых рабочих местах в не отапливаемых помещениях производственных и складских зданий, на открытых и полуоткрытых площадках должны соответствовать значениям, установленным СНиП РК 4.02-42-2006 с учетом времени пребывания производственного персонала на рабочих местах. Параметры микроклимата в помещениях отапливаемых общественных зданий, оборудованных системами отопления с использованием газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) (температура воздуха, скорость движения воздуха, относительная влажность воздуха, результирующая температура помещения и локальная асимметрия результирующей температуры), должны соответствовать значениям, СНиП РК 4.02-42-2006. При этом допускается снижение температуры воздуха, но не более чем на 2 °С по сравнению со значениями, предусмотренными нормативами. Для предупреждения неблагоприятного воздействия инфракрасного излучения на организм человека интенсивность теплового облучения при отоплении и обогреве должна быть не выше:

- 15 Вт/м^2 на поверхности незащищенных участков головы при температуре воздуха, соответствующей нижней границе допустимых величин;
- 25 Вт/м^2 на поверхности туловища, рук и ног человека при температуре воздуха, соответствующей нижней границе оптимальных величин;
- 50 Вт/м^2 на поверхности туловища, рук и ног человека при температуре воздуха, соответствующей нижней границе допустимых величин.

При понижении температуры воздуха, начиная от нижней границы соответствующих нормативных величин, интенсивность теплового облучения должна увеличиваться:

- на 15 Вт/м^2 на поверхности незащищенных участков головы на каждый градус снижения температуры;
- на 25 Вт/м^2 на поверхности туловища, рук и ног на каждый градус снижения температуры.

При этом максимальная интенсивность инфракрасного облучения поверхности туловища, рук и ног не должна превышать 150 Вт/м^2 на постоянных и 250 Вт/м^2 на непостоянных рабочих местах.

Газовые инфракрасные излучатели должны размещаться таким образом, чтобы не создавать прямого воздействия инфракрасного излучения на глаза человека в секторе рабочего обзора.

При применении ГИИ нет избыточного нагрева воздуха, происходит выравнивание температуры между полом и потолком, что позволяет экономить энергоресурсы. Конвективное отопление рациональнее применять для отопления низких, небольших и хорошо изолированных помещений. Действие излучателей является безынерционным, нет необходимости вырабатывать энергию для нагрева воздуха, который затем нагревает помещение.

Инфракрасное излучение распространяется прямолинейно, преломляется, отражается и поляризуется, также как видимый свет, что на практике означает возможность отопления заранее определенных зон и частей помещений.

Температура, которую ощущает человек в зоне работы инфракрасного излучателя, это среднеарифметическая температура между температурой теплового инфракрасного потока и температурой воздуха. Правильное использование преимущества зонального нагрева, без прогрева неиспользуемых площадей всего помещения, позволяет экономить до 80 % энергии. С такой задачей не может справиться ни одна из традиционных систем нагрева по причине моментальной инфильтрации теплого воздушного потока в холодном окружающем воздухе. Многие страны с начала 60-х годов начали широко внедрять на производстве системы отопления на основе ГИИ. Преимущества при применении газовых инфракрасных излучателей:

- в ГИИ газ сгорает в зоне прогрева, прямо превращаясь в тепловую энергию, следовательно, отсутствуют потери в теплообменниках и теплотрассах;
- газовые инфракрасные излучатели устанавливаются в помещениях на высоте не менее 3,5 метров, в свободном пространстве, имеют небольшие габариты, не загромождают стены радиаторами, регистрами, вентиляционными коробами, тепловыми завесами;
- системы отопления с применением ГИИ не требуют строительства котельных, теплотрасс, дымовых труб и тем самым исключаются затраты на их строительство и содержание;
- для отопления помещений требуется мощность в несколько раз меньшая, чем при системе воздушного отопления и на порядок меньшая, чем при водяном;
- при использовании газовых инфракрасных излучателей возможно понижение температуры в помещении на 2÷4°С без снижения комфортности, и экономия тепла только при этом достигает 15%;
- современная электроника, управляя работой системы отопления на основе ГИИ в импульсном режиме, поддерживает температуру на постоянном уровне за счет тепловой инерции поверхности нагрева. Точная регулировка позволяет избегать выделения избыточной мощности и создает дополнительные предпосылки к экономии затрат;
- системы отопления с ГИИ не требуют присутствия оператора, работают в автоматическом режиме по заданной программе на сутки, неделю и т.д.;
- универсальность применения – производственные цеха, мастерские, склады, гаражи и т.д.;
- помещения многоцелевого назначения, вестибюли, залы ожидания, спортивные сооружения, бассейны и т.д.;

- ГИИ совместимы с любыми системами вентиляции, т.к. их работа не приводит к циркуляции потоков воздуха, способных повлиять на функционирование вентиляционных систем.

При радиационно-конвективном отоплении с использованием ГИИ изменения температуры воздуха показали более равномерное распределение ее по горизонтальным зонам. Колебания температуры воздуха по высоте рабочей зоны не превышают 2,3 °С, а на уровне головы человека (1,7м) 1,2 °С, при средней температуре воздуха 8÷18 °С.

Исследования показали, что при конвективном отоплении температурный градиент по высоте составляет 1,7÷2,5°С/м. При этом разница температур у пола и потолка может достигать 6÷10 °С. При отоплении ГИИ температура у поверхности пола выше, чем у потолка, температурный градиент составляет 0,3 °С/м, причем, комфортная температура на высоте 1,5м может быть понижена на 2÷4 °С, без ущерба комфортности [3].

За счет снижения затрат на отопление потолочной части, верхнего пояса стен по периметру здания и снижения комфортной температуры инфракрасное отопление для помещений большого объема экономичнее конвективного.

Таким образом, можно выделить следующие основные преимущества систем отопления на основе ГИИ, позволяющие снизить затраты при обеспечении оптимальных условий теплового комфорта в помещениях:

- не требуют теплотрасс, не имеют проблем размораживания;
- отсутствуют потери в теплообменниках и теплотрассах;
- не требуют дополнительных площадей;
- имеют возможность работы в автоматическом режиме с помощью компьютерной системы управления;
- обеспечивают возможность мониторинга работы системы отопления;
- обеспечивают возможность зонального и сменного отопления;
- быстро прогревают помещение и поддерживают оптимальную температуру в зоне пребывания производственного персонала;
- обеспечивают возможность снижения температуры в помещении без потери ощущения комфорта.

Литература:

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04-01-2010. Строительная климатология: нормативно-технический материал. – Алматы: [б.и.], 2011. – 20 с.

2. Строительные нормы и правила: СНиП 4.02–42-2006. Отопление, вентиляция и кондиционирование: нормативно-технический материал. – Астана: [б.и.], 2007. – 53 с.

3. Мачкаши А. Основные принципы лучистого отопления больших помещений // Водоснабжение и санитарная техника. – 1964. – № 2. – С.125.

Поступила 21 сентября 2015 г.

UDC 621.3.078

ENERGY COST MINIMIZATION FOR SMALL BUILDING WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES BASED ON PREDICTION CONTROL

Ten V., Yessenbayev Zh., Shamshimova A., Khakimova A.
National Laboratory Astana, Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan
e-mail: vten@nu.edu.kz, zhyessenbayev@nu.edu.kz, abermukhambetova@nu.edu.kz, akhakimova@nu.edu.kz

Experimental 'Smart House' supplied by renewable power sources and located at Renewable Energy Test Site at Nazarbayev University consists of electric and heating subsystems. The system is capable to operate in autonomous mode and in integration to utility grid. Both subsystems electrical and thermal are the parts of the hybrid controlled plant based on the state of charge of accumulator battery stack and temperatures of the heating system. The goal of designed control is to maintain the states of the system satisfying the required ranges and at the same time to minimize the expenses for power consumption from utility grid in integration mode. The task of minimization is proposed to solve by both techniques: model predictive control and using genetic algorithm. The simulation results are obtained in MATLAB and confirm the efficiency of proposed approaches.

Keywords: *renewable energy, control systems, cost minimization, model predictive control, genetic algorithm*

Назарбаев Университетінің Жаңартылған Энергия Тестілеу алаңында орналсқан және жаңартылатын энергия көздерімен жабдықталған эксперименталды "Зерделі үй" электр және жылыту жүйелерінен құрылған. Жүйе автономды режимде жұмыс жасауға және негізгі желіге интеграциялануға қабілетті. Екі жүйе, электрлік және жылулық, аккумуляторлық батареялардың заряд деңгейі мен жылулық жүйенің температурасы негізіндегі гибридті басқарылатын обьектінің бөлігі болып табылады. Құрылған басқарудың мақсаты талап етілетін ауқымды қанағаттандыратын жүйенің күйлерін қамтамассыз ету, сонымен қатар негізгі электр жүйесінен тұтынатын энергияның шығынын минимизациялау болып табылады. Минимизациялаудың негізгі мақсатын шешудің екі әдісі ұсынылған: модельді болжалдау және генетикалық алгоритм. Симуляциялық нәтижелер MATLAB бағдарламалау есептелінді және ұсынылған әдістердің тиімділігі дәлелденді.

Тірек сөздер: *жаңғыртылатын энергия, басқару жүйелері, шығындарды азайту, модельді болжалдау, генетикалық алгоритм*

Экспериментальная установка «Умный дом», оснащенная возобновляемыми источниками энергии и расположенная на экспериментальной площадке возобновляемой энергетики на территории Назарбаев Университета, состоит из электрической и нагревательной подсистем. Система способна работать в автономном режиме и в режиме интеграции к общей сети. Обе подсистемы, электрическая и нагревательная, являются частями гибридного объекта управления, включающего уровень заряда аккумуляторных батарей и температур нагревательной системы. Целью разработанного закона управления является поддержание состояний системы, удовлетворяющих заданным пределам и в то же время минимизация затрат на потребление энергии от общей сети при режиме интеграции. Задачу минимизации предлагается решить двумя способами: управление на

основе модельного прогнозирования и с использованием генетического алгоритма. Результаты компьютерного моделирования, полученные в MATLAB, подтверждают эффективность предложенных подходов.

Ключевые слова: *возобновляемая энергетика, системы управления, минимизация затрат, модельное прогнозирования, генетический алгоритм*

Introduction. At the Present, installation and development of renewable energy sources in Kazakhstan is one of the priority tasks in national economics, in spite of still strong potential of mineral resources such oil, gas and coal. About 50 % of Kazakhstan's territory (2727300 km2, ninth-largest country in the World) has stable wind speed within the ranges of 4-7 m/sec at the height of 30 m. The number of sunny hours is 2,200-3,000 per year, and the energy of solar radiation is 1,300-1,800 kW/m2/year (Fig. 1) [1].

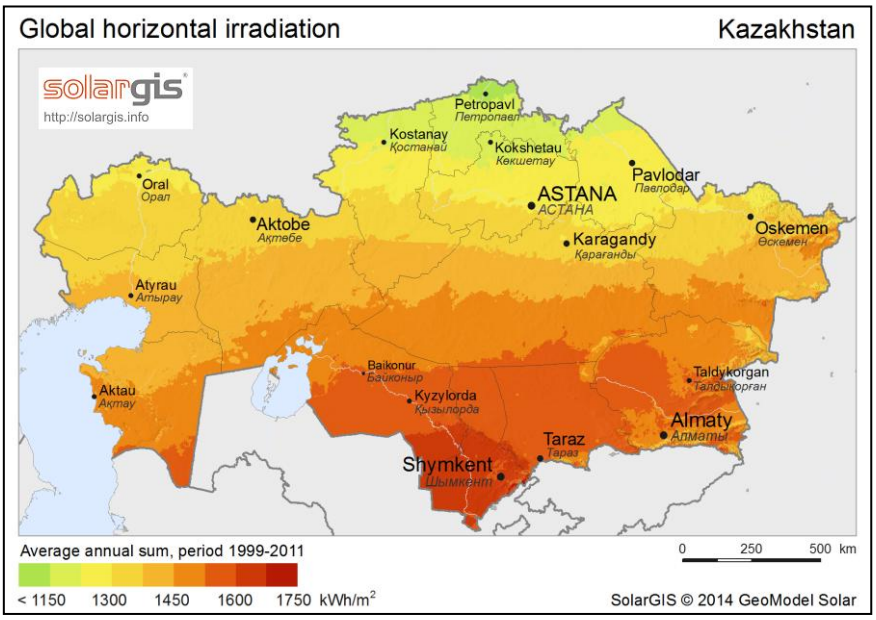


Fig. 1 – Map of estimated solar insolation in Kazakhstan

In the course of development of renewable energy the main applications are oriented for operation of national agricultural and industrial companies in rural areas and remote territories. Therefore, renewable power supply can be an extremely challenging engineering task for these underpopulated areas [2].

Installation and integration of renewable energy sources for small-scaled buildings is one of the most actual research topics and since 2014 the Laboratory of Intelligent Systems and Energy Efficiency at Nazarbayev University implements a research project dedicated to design and simulation of control strategies for efficient energy management system of the experimental smart house established on the renewable energy test site at Nazarbayev University (Fig. 2).

The energy management system relies on two energy subsystems: the electrical power subsystem that operates the appliances drawn from the grid, or from a charged battery pack and thermal energy subsystem that includes a solar collector and electrical heating coil. Designed energy management system is required to maintain the indoor temperature within a user-specified ranges and simultaneously to satisfy energy demand by electric loads which in turn minimizes energy consumption from the grid.

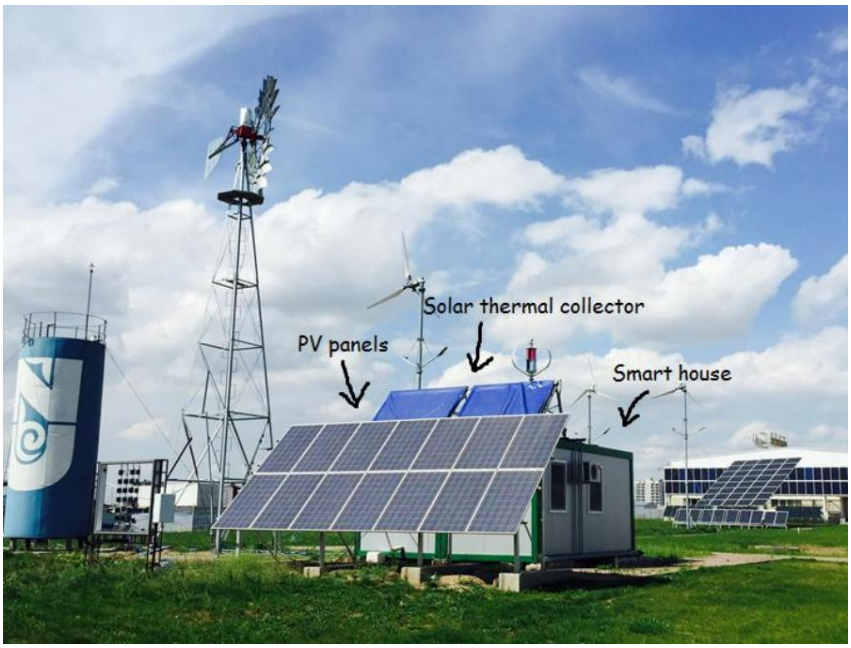


Fig. 2 – Experimental Smart house at Renewable Energy Test Site at Nazarbayev University

The thermal energy subsystem contains several on/off switches (electric coil, circulation pumps and battery/ grid switch). These signals are binary and therefore, modelling of such system should be approached in terms of hybrid dynamics [3], [4]. This method is used to mathematically express systems that contain interaction of physical and logical components.

Electric power subsystem consists of experimental facility shown in Fig.3.

Fig. 3 – Power electric facility of experimental Smart House at Renewable Energy Test Site at Nazarbayev University

It has the following components:

- 14 PV panels Alfasolar Pyramid 60P/250 with power nominal 235W;
- 8 lead-acid accumulator batteries Effekta BTL 12-200 with charge capacity 200 Ah each;
- 2 charge controllers;
- inverter;

– solar thermal collector with 60 evacuated tubes;
– heat exchanger with pumps;
– radiators.

Controlled plant. Both renewable power electric and heating subsystems are structured according to the scheme shown in Fig. 4. Here we operate with input, state, and output variables related to those subsystems and design a corresponding state space models. This has been implemented through identification and validation techniques mentioned and described in details in work [8] in cooperation with the authors of this paper.

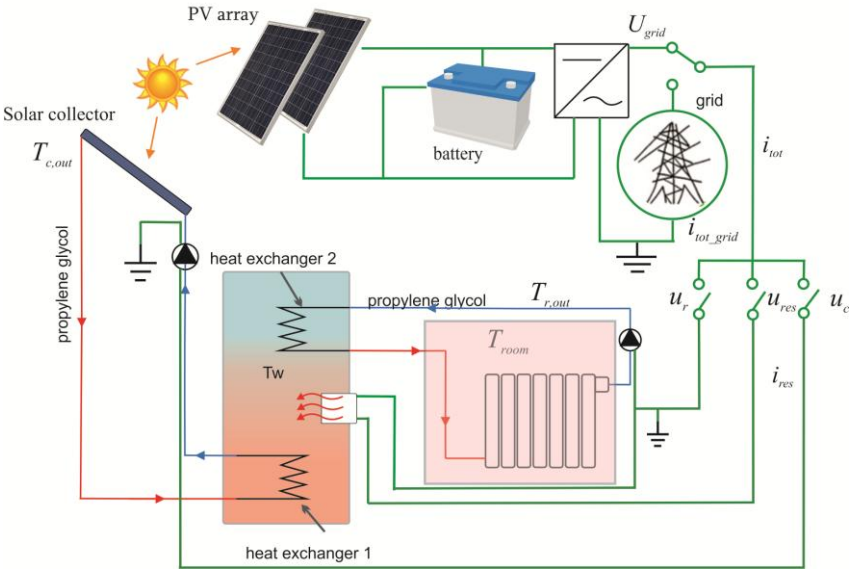


Fig. 4 – Functional structure of electrical and thermal subsystems of the smart house

Electrical subsystem. The electrical subsystem (electrical part of the controlled plant) has 4 binary switching signals that turn on or off the utility grid, collector pump, heating coil and radiator pump denoted respectively via u_{grid}, u_{res}, u_c and u_r:

$$u_{grid} = \begin{cases} 1, & \text{if grid on and battery off,} \\ 0, & \text{if battery on and grid off.} \end{cases} \tag{1}$$

$$u_{res} = \begin{cases} 1, & \text{if electrical heating on,} \\ 0, & \text{if electrical heating off.} \end{cases} \tag{2}$$

$$u_c = \begin{cases} 1, & \text{if collector pump on,} \\ 0, & \text{if collector pump off.} \end{cases} \tag{3}$$

$$u_r = \begin{cases} 1, & \text{if radiator pump on,} \\ 0, & \text{if radiator pump off.} \end{cases} \tag{4}$$

The state of electrical subsystem that defines the state of charge S depends on the current from PV cells i_{pv} and the current of the load i_l and can be and expressed as:

$$i_{pv} \approx 0.1218 \cdot E_e \,. \tag{5}$$

where E_e is solar insolation.

Fig. 5 shows the scheme of charging/discharging of accumulator batteries where state of charge depends on whether the load consumes energy from the batteries or the grid.

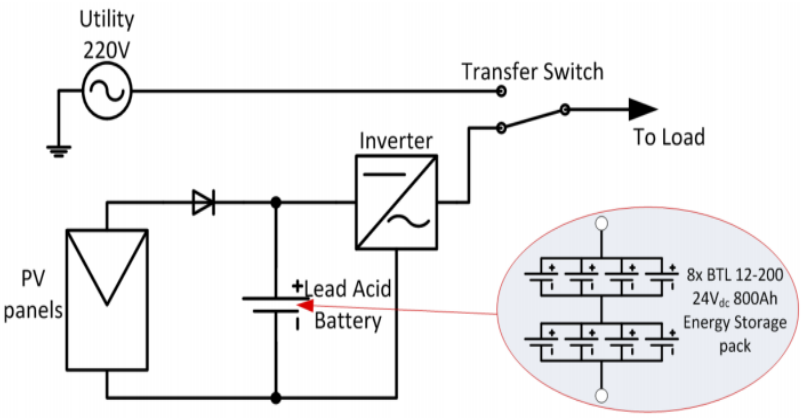


Fig. 5 – Schematic diagram of the smart house electrical subsystem

hus, the dynamics of the state of charge S can be written as:

$$S(k+1)=\begin{cases} S(k)+\dfrac{T_S}{Q}i_{pv}(k), & \text{if } u_{grid} = 1, \\ S(k)+\dfrac{T_S}{Q}\left(i_{pv}(k)-i_l(k)\right), & \text{if } u_{grid} = 0. \end{cases} \tag{6}$$

where *Ts* is the period of discretization for the whole system (controlled plant), Q is total capacity of accumulator battery stack and i_l is defined by the following formula:

$$i_l(k)=\frac{1}{V_b}\left(P_{res}u_{res}(k)+P_c u_c(k)+P_r u_r(k)+P_u\right). \tag{7}$$

where P_{res}, P_c, P_r and P_u are the power of heating coil, collector pump, radiator pump and additional utilities respectively.

The total power consumption can be expressed as follows:

$$P_l = P_{res}+P_c+P_r+P_u. \tag{8}$$

Thermal Subsystem. Thermal subsystem represented by traditional solar heater with evacuated tubes includes thermal tank, radiators, circulating pumps, electrical heating coil and temperature sensors mounted at different points. With the sensors PT1000 RTD and NTC10K the outlet temperatures $T_{c,out}$ and $T_{r,out}$ from solar collector and radiator respectively has been measured as well as the the average temperature in the water tank T_w, and the average room temperature T_{room}. With these measured variables we obtain the state vector:

$$x_{th} = \begin{bmatrix} T_{c,out} \\ T_w \\ T_{r,out} \\ T_{room} \end{bmatrix}. \tag{9}$$

The input vector is defined by control input u_{res} and disturbance input d_{th} consisted of the outside temperature T_{amb} and solar radiation E_e:

$$d_{th} = \begin{bmatrix} T_{amb} \\ E_e \end{bmatrix}. \tag{10}$$

Therefore, general state space model of the thermal subsystem has the following form:

$$x_{th}(k+1) = A(u_r(k), u_c(k)) \cdot x_{th}(k) + B \cdot P_{res}(k) \cdot u_{res}(k) + D \cdot d_{th}(k), \tag{11}$$

where matrices of the controlled plant and controlled and uncontrolled inputs are represented by expressions (12), (13) and 14 respectively:

$$A(u_r, u_c) = \begin{bmatrix} a_{11}(u_c) & a_{12}(u_c) & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & a_{32}(u_r) & a_{33}(u_r) & a_{34} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}, \tag{12}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{13}$$

$$D = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ e_{41} & e_{42} \end{bmatrix}. \tag{14}$$

Obtained model of the controlled plant (12) is nonlinear since some elements of $A(u_r, u_C)$ depend either on u_C or on u_r. However, we can consider four possible combinations of $(u_C, u_r) \in \{0, 1\} \times \{0, 1\}$, and operate with constant matrices *A(0, 0), A(0, 1), A(1, 0) and A(1, 1),* obtaining so-called switched linear systems [9].

Hybrid Model of overall system. Generally, the complete hybrid dynamic model consisted of both electrical and thermal subsystems is defined by the following vectors:

$$x = \begin{bmatrix} T_{c,out} \\ T_w \\ T_{r,out} \\ T_{room} \\ S \end{bmatrix} u = \begin{bmatrix} u_{grid} \\ u_{res} \\ u_c \\ u_r \end{bmatrix} d = \begin{bmatrix} T_{amb} \\ E_e \end{bmatrix}, \tag{15}$$

where $x \in R^5$ (state vector), $u \in R^4$ (manipulated input vector) and $d \in R^2$ (uncontrolled input vector). In shortened form dynamics of the system can be written in the following form:

$$x(k+1) = f\left(x(k), u(k), d(k)\right). \tag{16}$$

Problem Statement. There are two tasks for designed control. First, the behavior of the system must comply with the requirements on temperatures of the thermal subsystem and state of charge of the accumulator battery stack:

$$x \in \mathrm{X} \Leftrightarrow \begin{cases} T_{c,out} & \in & [-5°C, \quad 120°C], \\ T_w & \in & [3°C, \quad 80°C], \\ T_{r,out} & \in & [3°C, \quad 80°C], \\ T_{room} & \in & [20°C, \quad 23°C], \\ S & \in & [30\%, \quad 80\%]. \end{cases} \tag{17}$$

Second, the sequence of switching *u(k)* must be defined according to minimization of the expenses for power consumption from the utility grid based on the following tariff plan:

$$q_e = \begin{cases} q_{e,d}, & \text{between 7 a.m. and 11 p.m.}, \\ q_{e,n}, & \text{between 11 p.m. and 7 a.m.} \end{cases} \tag{18}$$

where $q_{e,d}$ and $q_{e,n}$ are the day-time and night-time tariffs respectively. The cost function for this optimization problem has the following form:

$$\min_u \sum_{k=0}^{N-1} \alpha P_l(k) q_e(k) u_{grid}(k), \tag{19}$$

$$\text{s.t.} \quad \begin{cases} x_0 = x_k, \\ x_{k+1} = f\left(x_k, u_k, d_k\right), \quad k = 0, \ldots, N-1, \\ x \in \mathrm{X}. \end{cases} \tag{20}$$

where α is the constant for unification of measurement units of all variables.

Design of control system and simulation. *Model Predictive Control.* MPC based on hybrid dynamical models has emerged as a very promising approach to handle switching linear dynamics, on/off inputs, logic states, as well as logic constraints on input and state variables [10], [11], [12]. Hybrid MPC design is a systematic approach to meet performance and constraint specifications in spite of the complexity due to the interaction between continuous and logic dynamics.

In order to test the proposed MPC controller, which has been implemented using the Hybrid Toolbox [13], a simulation example over a period of 5 days is presented, and the results are shown in Figs. 6, 7, and 8.

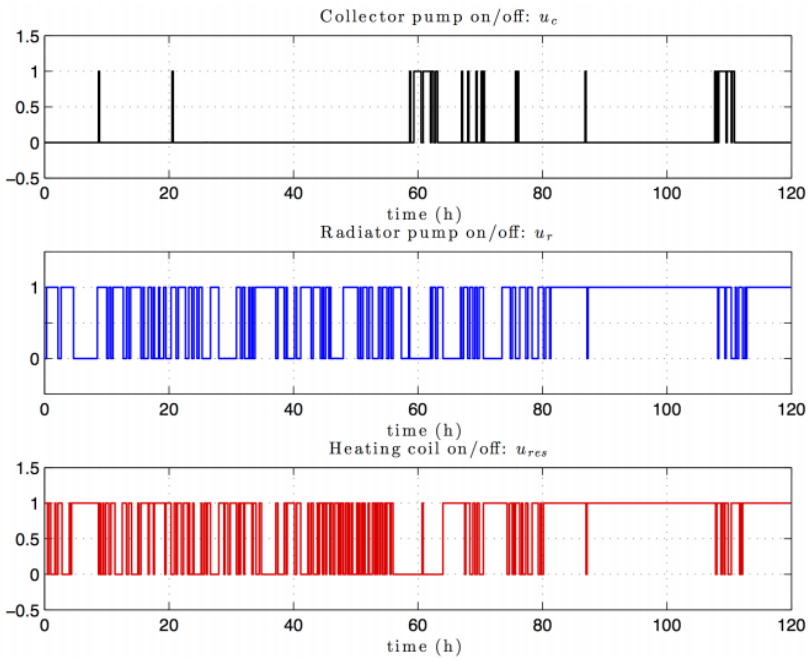


Fig. 6. Time evolution of the binary inputs u_c, u_r, and u_{res}

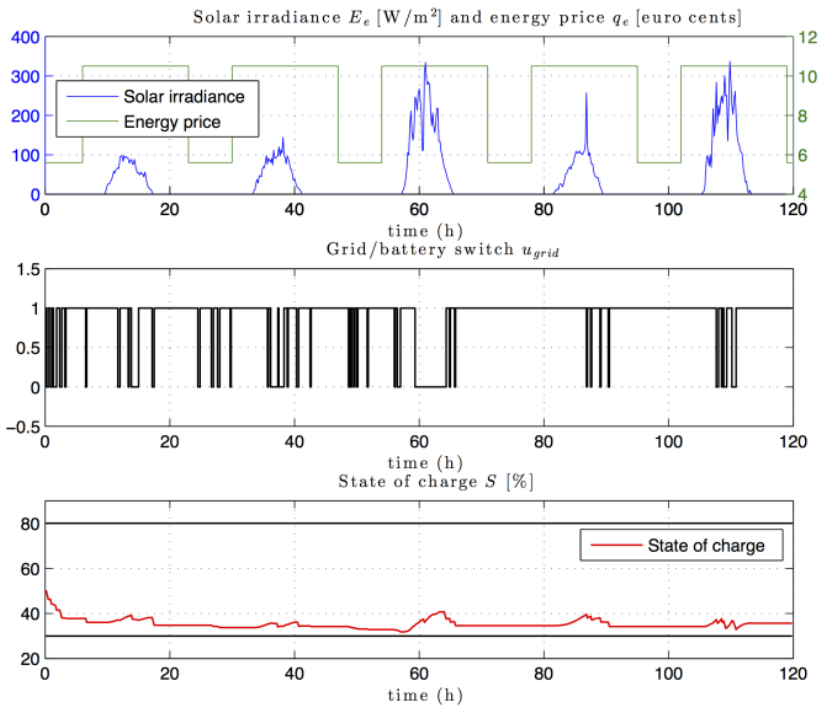


Fig. 7. Time evolution of E_e, q_e, u_{grid}, and S

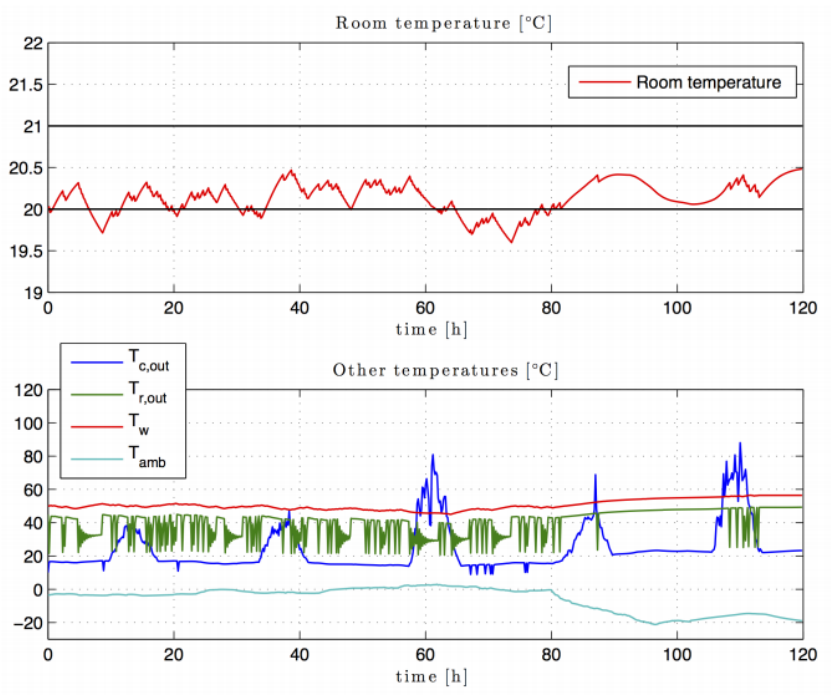


Fig. 8. Upper figure: time evolution of T_{room}. Lower figure: time evolution of states $T_{c,out}$, $T_{r,out}$, T_w, and disturbance input T_{amb}

The values of E_e and T_{amb} are obtained from measured data during the month of December in the experimental site. For the sake of simplicity, in the presented simulation the forecasted values E_e and T_{amb} coincide with the measured ones. The other external inputs are the constant power consumption of the additional utilities P_u = 0.3 kW, the current produced by the PV array, obtained from E_e via equation (5), and the electricity price q_e in (16). In order to allow the use of a rather long prediction horizon, equal to 8 hours, the MPC controller implements the equivalent version of the described model for prediction (i.e., (18)) with sampling time T_s = 30 minutes (as a consequence, N = 16). However, the control action is updated with an interval T_s = 10 minutes, which allows the controller to quickly recover from the effect of unmodeled dynamics or erroneous forecasts of the uncertain terms.

As for the electrical subsystem, the constraints on the state of charge value are also enforced, which prevents the battery from being damaged. Also, when the night tariff is applied, the energy from the grid is mostly preferred, in order to save the energy stored in the battery for the day, when the price of electricity will be higher. This is automatically obtained if the prediction horizon is long enough to calculate the effect of the day tariff, when the control action is decided during the night.

Genetic Algorithm. In programming, genetic algorithm (GA) approach simulates the Darwin's theory of natural selection to solve optimization problems, assuming that the stronger individual will survive more frequently in a competing environment. Each individual is usually encoded in a binary vector called chromosome. The GA is an iterative process of generating and searching the populations of chromosomes that gradually improve some cost function. In some cases it is possible to constrain the search space of the chromosomes. In general, GA can be summarized as follows [15]:

1. .*Creation* – the process of creation of the initial population;
2. *Selection* – the process of selection the fittest (according to some objective function) chromosomes from the given population for the reproduction;

3. *Crossover* – the process of producing new offsprings from the parents selected in the previous step;
4. *Mutation* – the process of stochastic changes in the chromosomes to avoid convergens of the solution to a local optima;
5. *Generation replacement* – the process of replacing the old population with the new generation obtained via crossover and mutation processes.

Genetic algorithms are widely used in bioinformatics, signal and image processing as well as in power systems. Among the recent works we can mention [14] and [15]. In [14] a problem of short-term forecasting state variables of electric power system is studied. The authors propose a hybrid-genetic support vector machine algorithm empowered with the Hilbert-Huang transform which they apply to real retrospective data of active power flow forecast and demonstrate its best efficiency. In [15], the contributors present three algorithms with an effect of selection of control variables on the convergence of optimal power flow. The optimal power flow is a power flow problem in which certain controllable variables are adjusted to minimize the objective function while satisfying the constraints on the physical state variables and operating limits. The latter paper was the motivation for this work where the objective is to maintain the states of our system inside the specified ranges and and at the same timeminimize the expenses for power consumption from the utility grid.

In this Project, genetic algorithm is applied to the processing MathWorks MATLAB Global Optimization Toolbox. The dataset is similar to that of [8], which includes external inputs such as the irradiation E_e and forecasted ambient temperature T_{amb} for the consecutive 5 days in December with sampling time T_s of 10 min, matrices A, B and D from (12)-(14). Additionally, energy day and night tariffs $q_{e,d}$ and $q_{e,n}$ are given to be 10.5 and 5.6 c€/kWh, respectively. The total power consumption of the load in the testbed is set to be 2.9 kW.

The genetic algorithm uses (16) as a fitness function and (17) as the nonlinear constraints. An input to the algorithm was a chromosome consisting of control vectors $u(k) = (u_{grid}(k), u_{res}(k), u_c(k), u_r(k))$ stacked together for each time k, i.e. the size of the final vector was T = 2880 (=4*5*24*60/Ts). The population size was set to 500 chromosomes and the algorithm produced 7 generations to obtain the optimal value of 20.35 €. This is effectively the cost of electricity consumed within5 days.

The results of the simulation are shown in figs. 9-11.

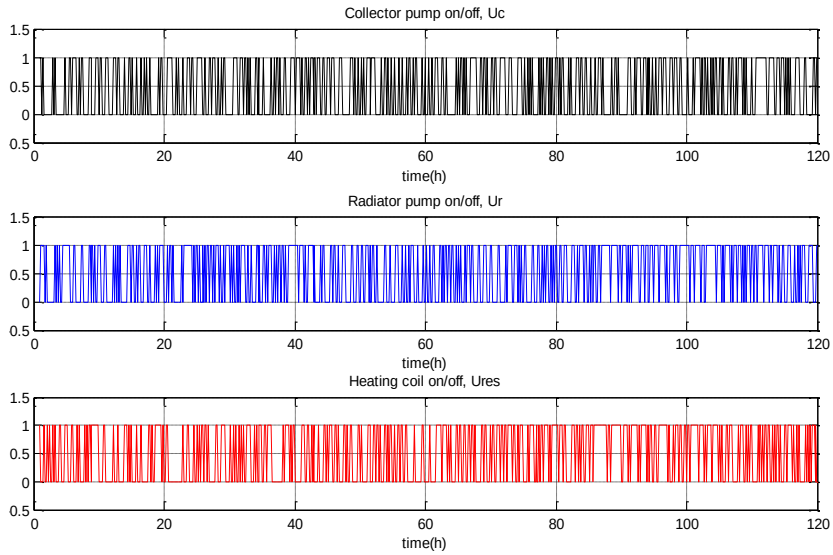


Fig. 9. Time evolution of the binary inputs u_c, u_r, and u_{res}

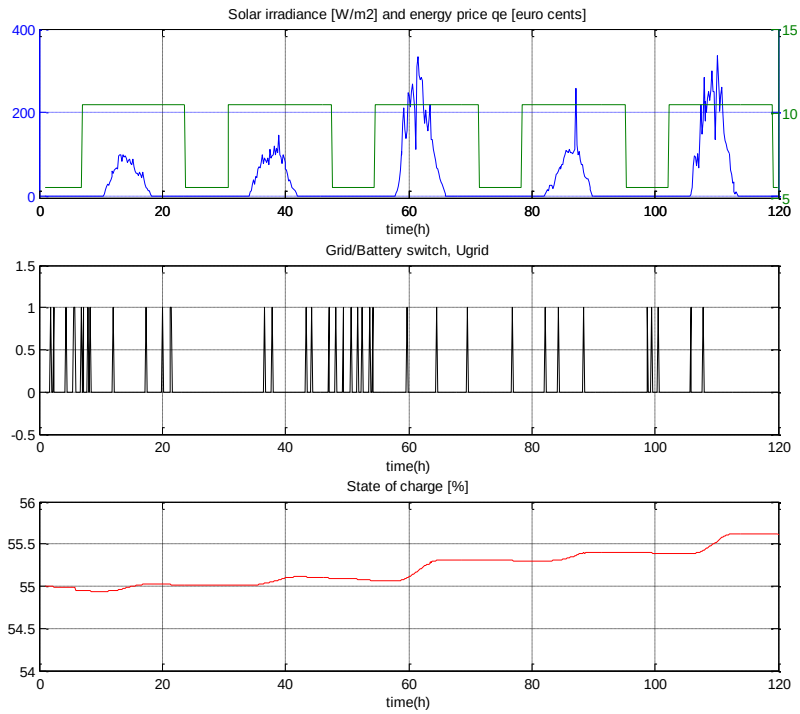


Fig. 10. Time evolution of E_e, q_e, u_{grid}, and S

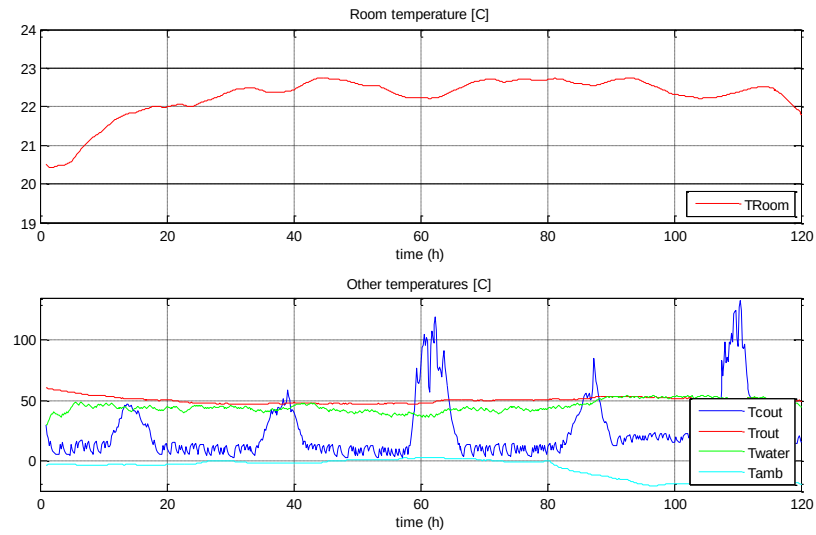


Fig. 11. Upper figure: time evolution of T_{room}. Lower figure: time evolution of states $T_{c,out}$, $T_{r,out}$, T_w, and disturbance input T_{amb}

If the thermal subsystem is concerned, then it is clear from fig. 11 that the optimal control vector respects the constraints imposed on the temperatures. The algorithm selects parameters such that the room temperature is maintained within the specified interval.Initially selected range between 20 ^oC and 21 ^oC was too narrow for the random creation function of the genetic algorithm to initialize properly. Therefore, the upper bound for T_{room} was raised up to 23 ^oC in order for the genetric algorithm to quickly find the initial population that satisfies the constraints. Further, from fig. 11 we can see that the value of T_r is kept smooth and almost constant compared to the result produced by MPC approach proposed in [8]. Also it is clear, that the change of T_{cout} is highly correlated with the solar irradiance.

As for the electrical subsystem, we can see that the constraints on the state of charge are also satisfied (see Fig. 10). It is interesting that the state of charge slightly grows on average with a little consumption due to the short and frequent periods of time when the radiator pump and the electrical heating were operating (see Fig. 9). The bulk of energy was obtained from the solar collectors. The control vector also led to the notable behavior of the grid/battery switch. i.e. the battery pack was used only5.4% of time which explains gradual increase of the SoC with time.

From the simulation we see that the proposed approach can efficiently solve the stated problem substantially minimizing the cost of electricity consumption from the public grid and smoothly preserving the desired state of the critical environmental parameters.

Conclusion. In this paper we presented the methods for optimization of small-scaled hybrid energy management of a smart house basing on prediction control techniques: using MPC and using genetic algorithm. Both approaches has shown the promising the results and can be considered useful and efficient for the future work. As the next stage of this research the incorporation of the developed techniques in real time scenario can be realized in Renewable Energy Test Site at Nazarbayev University.

Acknowledgement. This work has been partially funded by the Ministry of Education and Science of Kazakhstan through the program “Research and development of energy efficiency and energy saving, renewable energy and environmental protection for 2014 - 2016”, under project #8 ‘Integration, Automation and Control of Renewable Power Sources’ and project #10 ‘System of monitoring and management of renewable energy sources’. The authors also gratefully acknowledge the financial support by private institution ‘Nazarabayev University Research and Innovation System’ and its sponsors.

References:

1 Global Horizontal Irradiation // GHI Map of Kazakhstan. – http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Kazakhstan-en.png.

2 Трофимов, А. Рабинович, М. Распределительные сети - наиболее проблемный и затратный фактор электроснабжения сельских территорий // Энергетика. – 2011. – Т. 37. – №2 – С. 10–11.

3 Van Der Schaft A. J., Schumacher. J. M. An introduction to hybrid dynamical systems. – London: Springer, 2000. – P. 174.

4 Goebel R., Sanfelice R.G., Teel A.R. Hybrid dynamical systems // IEEE Control Systems Magazine. – 2009. – Vol. 29. – №. 2. – P. 28–93.

5 Ma Y., Borrelli F., Hencey B., Coffey B., Bengea S., Haves P. Model predictive control for the operation of building cooling sys- tems // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2012. – Vol. 20. – № 3. – P. 796–803.

6 Goyal S., Barooah P. A method for model-reduction of non- linear thermal dynamics of multi-zone buildings // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. 47. – P. 332–340.

7 Goyal S., Ingley H. A., Barooah P. Occupancy-based zone-climate control for energy-efficient buildings: Complexity vs. performance // Applied Energy. – 2013. – Vol. 106. – P. 209–221.

8 Khakimova A., Shamshimova A., Sharipova D., Kussatayeva A., Ten V., Bemporad A., Familiant Y., Shintemirov A., Rubagotti M. Modelling and Hybrid Model Predictive Control of a Smart House // Environment and Electrical Engineering 10–13 Jun. 2015 IEEE 15th International Conference – 2015. – P. 513–518

9 Sun Z. Switched linear systems: control and design. – Springer, 2006. – P. 288.

10 Bemporad A., Morari M. Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints // Automatica. – 1999. – Vol. 35. – № 3. – P. 407–427.

11 Ferrari-Trecate G., Gallestey E., Letizia P., Spedicato M., Morari M.,. Antoine M. Modeling and control of co-generation power plants: a hybrid system approach // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2004. – Vol. 12. – № 5, – P. 694–705.

12 Jingjing D., Chunyue S., Ping L. Modeling and control of a continuous stirred tank reactor based on a mixed logical dynamical model // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2007. – Vol.. 15. – № 4. – P. 533–538.

13 Bemporad A. Hybrid Toolbox - User's Guide," 2004. – 69 p.
http://cse.lab.imtlucca.it/~bemporad/hybrid/toolbox/

14 Kurbatsky V., Tomin N., Sidorov D., Spiryaev V. Hybrid genetic algorithms for forecasting power systems state variables // PowerTech (POWERTECH), 16–20 June 2013 IEEE Grenoble – 2013. – P. 1–6.

15 Wankhade C.M., Vaidya A. P. Optimal Power Flow Using Genetic Algorithm: Parametric Studies for Selection of Control and State Variables // British Journal of Applied Science & Technology, ISSN: 2231-0843. – 2014. –Vol. 4, Issue.: 2 (11-20 January). – P. 279–301.

Поступила 2 сентября 2015 г.

УДК 662.63:66.095.26

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА – СОЛОМЫ И ПРОЧЕЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

Турсунов Т.Б., Хен В.А., Хен С.М.
ТОО «TXT Company, Алматы, Республика Казахстан
e-mail: unilux.kz@mail.ru, khen.vitaly@gmail.com, svetlana.khen@gmail.com

ТОО«TXT Company» разработан новый способ гидролиза древесно-волокнистого вещества паровзрывным гидролизом с катализатором процесса для получения лигнинсодержащего вещества. Экологический чистый лигнин – аналог природного лигнина (Nature lignin - натурлигнин). Изготовлена технологическая линия по скоростному производству натурлигнина без системы сушки сырья. Натурлигнин (Nature lignin) – основной элемент при образовании углеводородов. Из натурлигнина получен газ высокого качества (из 1 кг натурлигнина получено 28-40 литров чистого газа), жидкое биотопливо (из 1 кг натурлигнина полено 0,08-0,1 л биотоплива) и получен активированный уголь (из 1 кг натурлигнина получено 0,6-0,65 кг активированного угля).

Ключевые слова: *альтернативная энергетика, лигнин, солома, растительная биомасса*

ЖШС "TXT Company" жаңа әдісі лигнин бар материалды процесі үшін ағаш - талшықты материал parovzryvnym гидролиз катализатордың гидролиз жаңа тәсілі. Экологиялық таза лигнин - табиғи лигнин (naturlignin Табиғат лигниннен) аналогы. Жиналған өндірістік желі жүйелік ресурстарды құрғатпай жылдамдығы жоғары өндірістік табиғи лигнин үшін өндірістік желі . Naturlignin (Табиғат лигнин) - көмірсутектерін қалыптастыруда негізгі элементі . Табиғи лигнин бастап (биоотын 0.08-0.1 литр кіру табиғи лигнин 1 кг) жоғары сапалы газ (1 кг табиғи лигнин таза газды 28-40 литр алынған), мен алынған белсендірілген көмір (активтендірілген көмірдің 0.6-0.65 кг алынған табиғи лигнин 1 кг) .

Тірек сөздер: *Баламалы энергетика , лигнин , сабан , өсімдік биомасса*

«TXT Company», Ltd. developed a new method of hydrolysis of wood-fiber material vapor explosive hydrolysis catalyst for the process of lignin-containing material. Environmental clean lignin - an analog of the natural lignin (Nature lignin - naturlignin). Made production line for high-speed production naturlignin without drying system resources. Naturlignin (Nature lignin) - a basic element in the formation of hydrocarbons. From naturlignin produced high quality gas (1 kg naturlignin received 28-40 liters of pure gas), liquid biofuels (1 kg naturlignin log 0.08-0.1 liters of biofuels) and obtained activated carbon (1 kg naturlignin received 0,6-0,65 kg of activated charcoal).

Keywords: *Alternative Energy, lignin, straw, plant biomass*

Об альтернативных источниках энергии

В настоящее время всё острее поднимается вопрос поиска альтернативных и возобновляемых источников тепловой энергии. В качестве их предлагаются самые разнообразные материалы: дрова, лигнин, кизяк, бытовой мусор, спирт, биодизель, биогаз[1].

Дрова: Топливная древесина – неплохой источник тепловой энергии. Огромное её количество образуется как отход деревообработки. Переработка отходов лесопилок в топливо легко производится на месте высокопроизводительным и компактным оборудованием. Нет особых проблем при хранении, транспортировке и применении. Из недостатков дров можно упомянуть только то, что их теплотворная способность сильно зависит от влажности материала.

Лигнин: Производство лигнина является хорошо отработанным процессом. Некоторые затраты требуются только на дополнительную сушку перед сжиганием. Хранение лигнина требует лишь защиты от воды и также трудностей не представляет. Сжигание лигнина связано с повышением выбросов серы, что негативно скажется на экологии региона. Данный ресурс является возобновляемым, но организация его дополнительного производства смысла не имеет.

Солома: Производство соломы является хорошо отработанным процессом. Некоторые затраты требуются на дополнительную сушку или переработку перед сжиганием. Хранение соломы требует защиты от воды и представляет некоторые трудности, так как объёмы соломы очень велики. Солома является полностью возобновляемым ресурсом, дополнительное производство которого можно организовать на переработке кормовых трав.

Кизяк: Кизяк является своеобразным топливом, широко применявшимся ранее, но почти вышедшим из обихода сейчас. Калорийность у него хорошая, но сбор, подготовка и хранение кизяка в настоящее время неприемлемы. Влажный, неподготовленный кизяк горит плохо, сильно дымит и даёт мало тепла. Ресурс данного вида альтернативного топлива практически неисчерпаем, но промышленная заготовка нецелесообразна.

Бытовой мусор: Постоянный выброс и накопление бытового мусора позволяют рассматривать его как перспективный источник тепловой энергии. Теплотворная способность мусора достаточно велика. Самой главной проблемой является полное поглощение и нейтрализация выделяющихся газов. Возобновляемость под вопросом, так как предпочтительна переработка, а не сжигание мусора.

Спирт: Производство спирта является хорошо отлаженным, хотя энергоёмким процессом. Хранение спирта не является проблемой. Применение топливного спирта ограничено маломощными компактными тепловыми установками бытового назначения. Применение спирта как жидкого топлива для ДВС возможно, хотя и нецелесообразно, поскольку теплотворная способность спирта значительно уступает нефтепродуктам.

Биодизель: Производство биодизеля является технологически сложным, но достаточно хорошо отлаженным процессом. Положительным моментом технологии биодизеля является возможность переработки в топливо отходов пищевых жиров. Хранение биодизеля не является проблемой. Применение биодизеля возможно во всех установках, использующих дизельное топливо.

Биогаз: Технология производства биогаза проста и хорошо отработана. Для его производства пригодна практически любая биомасса. Отделение биогаза от сырья не представляет проблемы. Перед использованием биогаза необходима очистка от углекислоты и сероводорода, что осложняет его крупномасштабное использование, но эта проблема решаема. Отходов, требующих переработки, после выработки биогаза не остаётся. Биогаз является полностью возобновляемым ресурсом, производство которого легко наладить в

любой местности. Наиболее предпочтительно использование биогаза на месте, без транспортировки.

Альтернативное топливо из древесины. Пеллеты.

Самый распространённый материал, применяемый в виде альтернативного топлива в мировой экономике, это топливные пеллеты и брикеты. Топливные пеллеты производят из древесины и прочей растительной биомассы, но самым перспективным и популярным сырьём для производства пеллет на сегодняшний день является древесина. Древесные пеллеты достаточно выскокоэнегретичны, неприхотливы в обработке и потому имеют широкое употребление и применение.

Учитывая мировое движение по понижению выбросов CO_2 в атмосферу, для снижения процесса глобального потепления и уменьшением применения угля в отопительных котлах, этот вид топлива считается самым перспективным в наше время. Пеллеты из соломы и прочей растительной биомассы считаются малоперспективными, ввиду низкой калорийности и высокой зольности.

В европейских странах спрос на пеллеты ежегодно возрастает на 15 %. Параллельно увеличиваются и объемы выпуска твердого топлива. В среднем раз в неделю начинает работать новое производственное предприятие с минимальной мощностью 2 тонны пеллет в час. Стремительное развитие европейского рынка альтернативного топлива в первую очередь обосновано строгими экологическими нормами и требованиями в странах Евросоюза. К 2010 году власти ЕС хотят довести долю потребления альтернативных энергоресурсов в общем объеме потребляемой энергии до 12 % (на сегодняшний день она составляет 7%). Однако существующие в Европе производственные мощности не способны полностью удовлетворить потребности рынка в экотопливе.

Согласно анализу рынка пеллет, проведенному ЗАО «B2B» в рамках подготовки «Бизнес-плана производства пеллет», спрос на данный вид топлива в Европе к 2020 году увеличится вдвое и составит 24 млн тонн в год, из которых около 11 млн тонн будет удовлетворяться за счет импорта.

При сохранении текущей доли Российских производителей пеллет на Европейском рынке (около 16%), экспорт пеллет из России в Европу может составить 1,7 млн тонн пеллет в год. По более оптимистичным оценкам, объемы экспорта пеллет из России в Европу могут увеличиться до 5–6 млн тонн.

Характеристики пеллет

Пеллеты представляют собой прессованные цилиндры диаметром до 25 мм, наибольшее распространение получили пеллеты диаметром 6…10 мм. Физико-геометрические характеристики пеллет: диаметр, длина, плотность, влажность, насыпная масса — определяются параметрами оборудования. Подобная форма обеспечивает сыпучесть и позволяет использовать все известные способы автоматизации в подающих устройствах котельных. Во многом благодаря этому, пеллеты стали основным видом прессованного топлива в Европе.

Химические характеристики готовых гранул зависят от исходного сырья. В процессе прессования не допускается использование посторонних материалов, таких как клей и пластмассы.

Еще одной характеристикой топливных гранул является количество выделяемой тепловой энергии. Зачастую такой показатель является основным при формировании стоимости на

данный вид топлива. Пеллеты всегда тонут в воде, и хорошие, и плохие, так как плотность пеллет больше 1. Не является критерием оценки запах пеллет, за исключением посторонних запахов, указывающих на применении хим. связующих или неправильного хранения.

Другими важными эксплуатационными параметрами пеллет являются: зольность; плотность; истираемость.

Содержание золы в гранулах составляет, согласно стандарту европейских стран, менее 1,5%. Следует отметить, что при сжигании в промышленных установках с автоматическим золоудалением, зольность пеллет не имеет большого значения.

Стандарты

В Европе с первого квартала 2010 ввелся новый стандарт ENplus для пеллет бытового назначения и EN-B для «индустриальных» пеллет, используемых в промышленных предприятиях и коммунальных котельных. Инициатором разработки новых стандартов выступила Германия. Введение отдельного стандарта качества для бытовых и промышленных пеллет позволит вести четкий учет потребления и контролировать качество продукции.

Новые европейские стандарты качества топливных гранул по сравнению с немецким стандартом DIN plus

Единого Европейского стандарта на пеллеты пока не существует, поэтому ниже приводятся названия некоторых существующих национальных стандартов (таблицы 1, 2).

Австрия – ONORM M 7135 Austrian Association pellets (briquettes and pellets);

Англия – The British Bio Gen Code of Practice for biofuel (pellets);

Германия – DIN 51731 (briquettes and pellets);

США – Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI (pellet);

Швейцария – SN 166000 (briquettes and pellets);

Швеция – SS 187120 (pellets);

Пеллеты согласно шведскому стандарту (SS 187120) – это спрессованные цилиндры с максимальным диаметром 25 мм. Согласно этому стандарту, пеллеты делятся на три группы, начиная с I-ой (гранулы наивысшего качества) и заканчивая III-ей (промышленные).

Австрийский стандарт ONORM M 7135 классифицирует пеллеты по типу исходного сырья: на пеллеты из древесины и на пеллеты из коры. Размеры в обоих случаях следующие: диаметр 4-20 мм и длина до 100 мм.

Согласно немецкому стандарту DIN 51731 пеллеты должны иметь диаметр в пределах 4-10 мм и длину не более 50 мм.

Все стандарты регламентируют такой параметр как зольность, на который основное влияние оказывает наличие в исходном сырье коры, веток и других включений.

Таблица1 – Стандарты европейских стран (Германия, Англия) на пеллеты

Нормы качества	DIN plus	EN plus- A1	EN plus- A2	EN-B
Диаметр, мм	4-10	6 (±1)	6 (±1)	6 (±1)
Длина, мм	≤ 5 x D	3,15 ≤ L≤ 40	3,15 ≤ L≤ 40	3,15 ≤ L≤ 40
Насыпная масса, кг/м3	–	≥ 600	≥ 600	≥ 600

Продолждение таблицы 1

Теплота сгорания, МДж/кг	≥ 18	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,0
Влажность, %	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Истирание /пыль, %	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Твёрдость, %	≥ 97,7	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 97,5
Зольность, %	≤ 0,5	≤ 0,7	≤ 1,0	≤ 3,0
Температура плавления золы, ≥ С	–	≥ 1200	≥ 1100	≥ 1100
Хлор, мг/кг	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,03
Сера, мг/кг	≤ 0,04	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Азот, мг/кг	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0
Свинец, мг/кг	–	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Хром, мг/кг	–	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Мышьяк, мг/кг	–	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Кадмий, мг/кг	–	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Ртуть, мг/кг	–	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Медь, мг/кг	–	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Никель, мг/кг	–	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Цинк, мг/кг	–	≤ 100	≤ 100	≤ 100

Таблица2 – Стандарты европейских стран (Германия, Австрия, Швеция) на пеллеты

	DIN 51 731	O-Norm M 7135	DINplus	SS1871 20
	Германия	Австрия	Германия	Швеция
Диаметр, мм	4-10	4-10		
Длина, мм	< 50	< 5*d	< 5*d	< 5*d
Плотность, кг/дм^3	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	Нет
Влажность, %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насыпная масса, кг/м^3	650	650	650	650
Брикетная пыль, %	Нет	< 2,3	< 2,3	Нет
Зольность, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5
Теплота сгорания, МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 18
Содержание серы, %	< 0,08	< 0,04	< 0,04	< 0,08
Содержание азота, %	< 0,3	< 0,3	< 0,3	нет
Содержание хлора, %	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,03
Мышьяк, мг/кг	< 0,8	нет	< 0,8	Нет

Продолжение таблицы 2

Свинец, мг/кг	< 10	Нет	< 10	Нет
Кадмий, мг/кг	< 0,5	Нет	< 0,5	Нет
Хром, мг/кг	< 8	Нет	< 8	Нет
Медь, мг/кг	< 5	Нет	< 5	Нет
Ртуть, мг/кг	< 1,5	Нет	< 1,5	Нет
Цинк, мг/кг	< 100	Нет	< 100	Нет

Способы изготовления пеллет

Общепринятый классический способ изготовления пеллет применяемый во всём мире заключает в себе следующие этапы (рисунок1):

1. Предварительное измельчение;
2. Промывка массы;
3. Сушка массы (обычно в тоннельных печах);
4. Измельчение до технологических размеров;
5. Сортировка массы;
6. Гранулирование пеллет;
7. Упаковка.

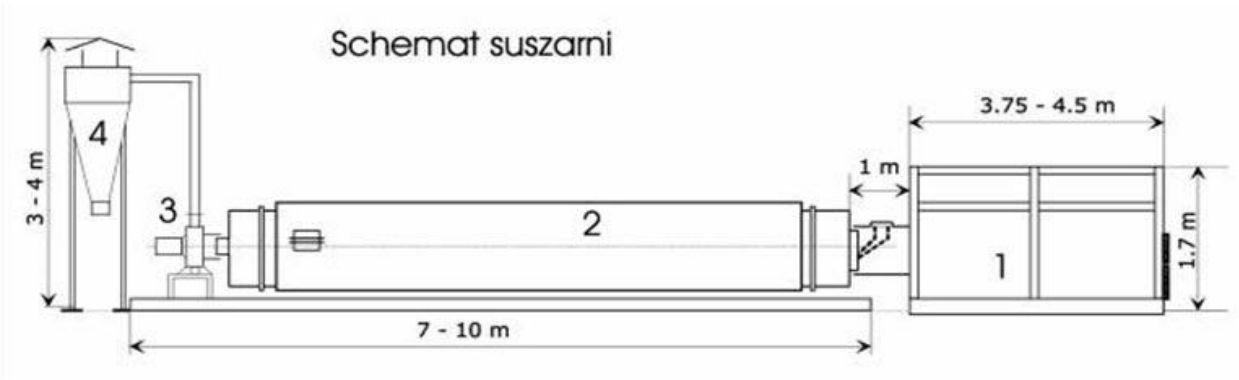


Рисунок 1 – Схема изготовления пеллет

В случае изготовления пеллет особого (высокого) качества добавляется процедура дополнительной промывки и пропарки сырья.

Альтернативное топливо из соломы и из прочих отходов растительной биомассы. «Nature lignin» -натурлигнин – казахстанское изобретение.

Компанией ТОО «TXT Company» (Свидетельство о государственной регистрации №10100111018262 от 17.07.2015 г.) разработана технология получения лигнинсодержащего материала из любого волокнистосодержащего вещества методом паровзрывного гидролиза без применения минеральных кислот и агрессивных химических примесей. Данный способ позволяет изготавливать топливные гранулы из растительных отходов с высокой теплоотдачей, почти равной теплоотдаче каменного угля. Такого не может предложить ни одни способ производства топливных гранул (пеллет) из древесного материала и соломы зарубежных и отечественных разработчиков и производителей.

После полного цикла переработки волокнистого материала методом паровзрывного гидролиза с добавлением катализатора процесса получается лигнисодержащий материал, близкий по своему содержанию и свойствам к природному лигнину. Отсюда разработчиками данной технологии принято решение назвать свой продукт - ***натурлигнин (Nature lignin)***

В результате разработанной технологии гидролиза перегретым паром с добавлением катализатора процесса (казахстанское «ноу-хау»!) стало возможным получать фурфурол (продукт гидролиза волокнистого вещества – сырьё для производства искусственного волокна и искусственной резины) и получить гидролизный лигнин – натурлигнин («Nature лигнин»), абсолютно безвредный, по сравнению с существующим гидролизным лигнином и применяемом во всём мире!

Инновационность казахстанской технологии гидролиза волокнистого вещества

По существующей технологии гидролиза древесноволокнистого вещества в древесную массу добавляют минеральную кислоту из соотношения 8-10:1 и греют при температуре +200 ºС в течении 6-12 часов. Из паров, выделяемых при этой переработке, получают так нужный фурфурол. Побочным продуктом в этой технологии является гидролизный лигнин, который насыщен кислотами (соляная или серная, азотная и т.п.) и перед применением требует нейтрализации солями либо щелочами, что опять-таки насыщает состав лигнина тяжёлыми соединениями. В итоге гидролизный лигнин выбрасывается в отвалы по всему миру и его запасы на сегодняшний день оцениваются как минимум в 100-120 млн тонн, которые загрязняют окружающую среду!

В казахстанском технологическом процессе паровзрывного гидролиза с применением катализатора решено использовать дисковый (тарельчатый) гранулятор, и с техническими изменениями, внесёнными в конструкцию устройства, удалось получить автогидролиз в процессе грануляции. Но учитывая, что скорость грануляции очень высока и волокнистая масса не успевает полностью пройти процесс гидролиза, было решено установить каскад из грануляторов, где масса, пройдя грануляцию и автогидролиз в одном устройстве, на выходе попадает в следующее и так не менее 5 раз (не менее 5 грануляторов). На рисунке 2 показан механизм создания этих условий.

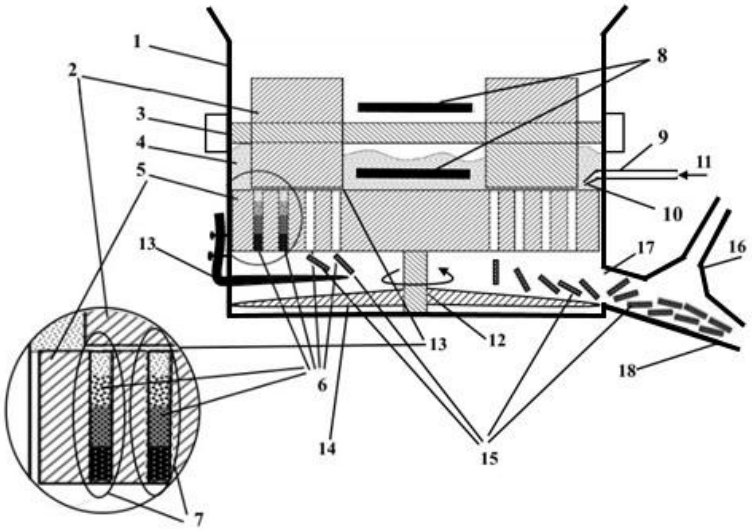


Рисунок 2 – Схема автогидролиза в дисковом грануляторе

Как видно из рисунка, биомасса 4 засыпается в камеру гранулятора 1, где биомасса попадает под вращающийся диск 5 гранулятора с отверстиями и ролик 2. Ролик 2, вращаясь от соприкосновения с диском 5, вдавливает биомассу 4 в отверстия 6. Диск 5 с роликом 2 вращаются со скоростью не менее 200 оборотов в минуту, и тем самым ролик 2 в секунду не менее 3–4 раза вдавливает биомассу 4 в отверстия 6 и тем самым создаются условия для автогидролиза в зоне гидролиза 7. Для проведения автогидролиза необходимы условия:

1. Температура не менее +200С;
2. Давление не менее 10-20 МПа;
3. Паровой взрыв – мгновенная декомпрессия, которая расщепляет целлюлозу и разрушает связи в гемицеллюлозе.

В данном устройстве созданы все эти условия:

1. Температура создаётся за счёт трения ролика об диск и также в камере установлены ТЭНы 8;
2. Давление создаётся за счёт вдаливания биомассы роликов в отверстия 6 диска 5;
3. Паровой взрыв также создаётся движением ролика 2 по диску 5 с частотой не менее 3-4 раза в секунду.

В разработанной новой технологии изготовления «натурлигнина» имеется существенное технологическое отличие от схемы изготовления древесных пеллет (рисунок 3). В технологии изготовления пеллет, используемом во всём мире, существует момент промывки и сушки сырья в тоннельной печи и в прочих устройствах, которая занимает значительную площадь, и является источником по выделению CO_2 в атмосферу. В разработанной технологической линии по производству «натурлигнина» этот момент обошли, и сушка происходит в процессе гранулирования.

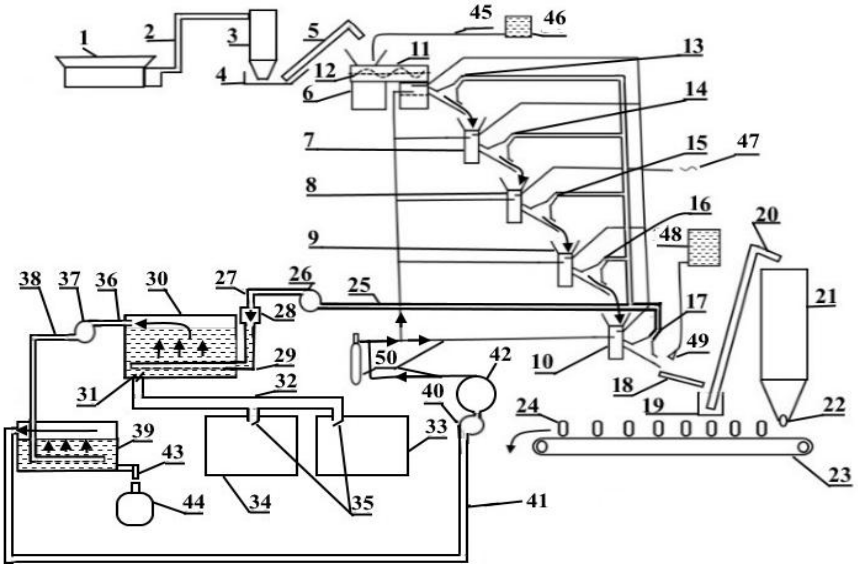


Рисунок 3 – Схема технологической линии по получению «натурлигнина» из растительной биомассы

Сырьё с поля попадает на измельчение и изготовление в предварительное сырьё – гранулы, которые уже готовы к применению в виде топлива, но оно низкокалорийное и требует особого хранения. Далее эти гранулы перевозятся, транспортируется непосредственно к месту основной линии и там попадает на технологическую переработку.

Следует учесть, что технологическая линия разработана для проведения автогидролиза и потому здесь помимо лигнина должны присутствовать процессы получения химических полуфабрикатов. Но учитывая высокую скорость процесса, то из всех химических веществ, получаемых в процессе обычного гидролиза, здесь мы можем получить только фурфурольно-смоляную смесь, которую вполне возможно использовать в дальнейшей переработке.

Летом 2014 года на данный способ изготовления лигнинсодержащего материала (рисунки 4, 5) поданы заявки на получение Казахстанского патента, на Евразийский патент и на международный формат PCT . Также подана заявка на установку для гидролиза биомассы.

Рисунок 4 – Лигнисодержащий материал – натурлигнин. Содержание лигнина – 86%

а б

Рисунок 5 – Пеллеты из лигнисодержащего материала (натурлигнин) (а) и соломы (б)

Свойства натурлигнина

Единственный отрицательный фактор у пеллет из натурлигнина при использовании в качестве альтернативного топлива – высокая зольность против зольности у древесных пеллет. У древесных пеллет зольность составляет 0,2-3,0 %, у пеллет из натурлигнина – 10-12 %. Но имеется фактор у золы из «натурлигнина», который может также стать доходной частью проекта! По результатам проведённой экспертизы по элементному содержанию золы, выявлено, что в золе от «натурлигнина» имеется высокое содержание кремния – до 70,5 %! Нашими специалистами проводятся изыскательские работы по поиску причин появления такого высокого содержания кремния в золе. При соответствующей переработке имеется возможность довести содержание кремния до 99 %, что сделает его востребованным в промышленности и принесёт дополнительную прибыль и уменьшит конечную себестоимость производства.

По результатам проведённой экспертизы в ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург, РФ)

теплотворная способность наших пеллет составляет 20 МДж или 4817 ккал/час, при влажности 2,5%. Такими показателями не обладает ни одна продукция в виде пеллет, производимых мировыми производителями!

Предварительную экспертизу нового материала проводили в лаборатории кремнеуглеродных композитов в РГП «Национальный центр комплексной переработки минерального сырья РК», и заключение экспертов свидетельствуют о том, что полученный материал имеет в своём составе высокое содержание лигнина, но обладает совершенно иными свойствами, известными современной науке. Авторы технологии учились в Ленинградской лесотехнической академии, и недавно представили свой материал бывшим своим преподавателям этого учебного заведения. Резюме учёных подтвердил сомнения специалистов из РГП «Национальный центр комплексной переработки минерального сырья РК» – это совершенно новый материал и способ его получения неизвестен современной науке.

Натурлигнин – основа при образовании углеводородов

Свойства «натурлигнина» полностью не изучены ввиду того, что до сих пор никому не удавалось получить именно такой лигнин, который по своим свойствам похож на природный лигнин и получается за столь короткое время – время на измельчение биомассы 15 минут и 15 минут автогидролиз. Учитывая скорость получения «натурлигнина» и дальнейшие эксперименты проведённые в лаборатории пиролиза в Лесотехническом университете г. Санкт Петербурга вначале 2015 года, у разработчиков сложилась новая теория образования углеводородов. В процессе образования углеводородов непосредственное участие принимает лигнин[2], а не древесный уголь [2], как считалось раннее, либо биомасса подвергающаяся процессам гниения и прочего разложения в течении миллионов лет [2]. Процесс образования углеводородов происходил намного быстрее – несколько часов, суток, но не миллионы лет! Растительная биомасса подвергалась (подвергается) температурному воздействию, но при этом с биомассой, находящейся в замкнутом пространстве, происходил не только пиролиз, а гидролиз под воздействием температуры, давления и пара, от выделяемой из биомассы влаги. Пар, соединяясь с продуктами горения и выделяющимся CO_2, образует угольную кислоту, и все эти условия являются достаточными для проведения процесса гидролиза. Полученный в таких условиях природный лигнин тут же подвергался процессу пиролиза, в результате чего получились исходные вещества для происхождения углеводородов. В лаборатории пиролиза в Лесотехническом университете г. Санкт-Петербурга проведены дополнительные эксперименты и получены:

1. Газ высокого качества (из 1кг пеллет «натурлигнина» получается 28–40 литров газа) (рисунок 6,а);
2. Биотопливо (из 1кг пеллет «натурлигнина» получается 0,08–0,1 литра биотоплива.) (рисунок 6,б). Это биотопливо с последующей переработкой должно превратиться нефть.
3. Уголь (из 1кг пеллет «натурлигнина» получается 0,5–0,6 кг угля) (рисунок 6,в), этот активированный уголь с последующей переработкой превратится в каменный уголь.

Заключение

Область применения натурлигнина весьма обширна: применение в качестве сорбента в нефтегазовой отрасли и в медицине; применение в качестве пластификатора для производства плитных материалов из той же соломы или древесины (аналоги ДСП и МДФ); применение для производства газа и жидкого топлива; общее применение в качестве

альтернативного топлива. Все свойства этого материала ещё не изучены, и не исключается момент открытия новых свойств этого продукта и применения его для получения искусственных материалов по уже отработанным технологиям в углехимии и в гидролизе древесно-волокнистого вещества.

а б в

Рисунок 6 – Газ из «натурлигнина» (а), биотопливо из «натурлигнина» (б), активированный уголь из «натурлигнина» после пиролиза и получения газа с биотопливом (в)

Имеется ещё один фактор, который требует глубокого изучения свойств открытого способа изготовления натурлигнина и самого материала. В недавно проведённом эксперименте по применению натурлигнина было решено добавить его в качестве пластификатора при брикетировании некондиционного угля. Имеется множество проблем при добыче, погрузочно-разгрузочных работ каменного угля. На земле остаются тысячи, миллионы тонн угольной пыли, которая составляет проблему для производителей и загрязняет окружающую среду.

Пылевидный уголь тяжело сбрикетировать, и потому все производители испытывают с разного рода пластификаторами. Но даже сбрикетированная угольная пыль очень плохо горит. Есть такие технические и технологические решения добавлять в эти брикеты отходы от нефтепродуктов и их переработки. Но это повышает его экологическую опасность – повышается выброс вредных продуктов от добавок. Ввиду всех этих проблем такой сбрикетированный уголь имеет цену почти в 2 раза ниже цены на каменный уголь и имеет очень низкую покупательскую способность. Срок хранения его весьма ограничен, т.к. от длительного хранения из-за добавленных в структуру пластификаторов брикеты разрушаются.

В результате проведённого практического эксперимента ТОО «TXTCompany» в некондиционный уголь добавили 0,2 % натурлигнина с 35 % воды и сдавили в брикетировщике угля. Полученные брикеты высушили и попробовали сжечь в бытовой печи. Полученные брикеты разгорелись без особых усилий, против розжига обычного брикетированного угля, появилась нормальная теплоотдача и брикеты стали гореть естественным способом, как горит качественный каменный уголь. При добавлении 1 % натурлигнина брикеты сгорели очень быстро. Такие свойства натурлигнина возвращать способность хорошего горения у некондиционного каменного угля требуют глубокого изучения свойств полученного натурлигнина. Учитывая ничтожное процентное соотношение

в применении в данном эксперименте, свидетельствует об участии молекул натурлигнина на микроэлементном уровне, что даёт смелость подозревать о нанотехнологических процессах.

Литература:

1. Набиуллин А.Р. Альтернативное топливо. Мечты и реальность.// Нанометр. – http://www.nanometer.ru/2009/04/06/alternativnaa_energetika_biotoplivo_biogaz_153654.html.

2. Белков С. Весь прогресс из угля. Лигнин всему голова. // Газета.ru. – http://www.gazeta.ru/science/2012/11/06_a_4841701.shtml.

Поступила 3 октября 2015 г.

УДК 621.565.83

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НОЧНОГО РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОГО КЛИМАТА

Цой А. П.[1], Грановский А. С.[2], Цой Д. А.[2]
[1]*Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан*
[2]*ТОО «Тениз», Алматы, Республика Казахстан*
e-mail: teniz@bk.ru

В данной работе производится моделирование работы холодильной системы ночного радиационного охлаждения, при её использовании в течение всего года в условиях климата города Алматы. В качестве теплоносителя в системе используется водный раствор этиленгликоля. Радиаторы изготовлены из алюминиевого листа и трубы. Приводится результат расчета температуры в аккумуляторе холода в конце каждой из ночей в году, рассчитывается энергопотребление насоса системы и её холодильный коэффициент в зависимости от температуры охлаждаемого объекта. В результате работы установлено, что при помощи предлагаемой системы можно получить температуру на 3 °С ниже минимальной за ночь температуры воздуха. Холодильный коэффициент системы при температуре охлаждаемого объекта 0 °С в среднем за зимние месяцы 6,7 единиц. Система может поддерживать температуру 0 °С около 120 дней в году.

Ключевые слова: *холодильная техника, ночное радиационное охлаждение, эффективное излучение, естественное охлаждение, альтернативные способы охлаждения.*

Берілген жұмыста Алматы қаласының климаты шарттарында жыл бойы түнгі радиациялық салқындату жүйесін қолданған кездегі түнгі радиациялық салқындатудың мұздату жүйесін модельдеу орындалған. Жүйеде жылу тасмалдаушы ретінде этиленгликольдің сулы ерітіндісі қолданылыды. Жыл бойы әрбір түн соңындағы суының аккумляторындағы температураны есептеу нәтижелері көрсетілген, жүйенің сорабының энергияны тұтынуы мен салқындатылатын объект температурасына байланысты оның мұздату коэффициенті есептеледі. Жұмыс нәтижесі бойынша ұсынылған жүйе көмегімен түн ішінде ауаның минимал температурасынан 3°С-ға төмен температура алуға болатындығы орнатылды.салқындатылған объект температурасы 0 °С болғанда жүйенің мұздату коэффициенті қысқы айларда орташа есеппен 6,7 бірлікті құрайды. Бұл жүйе жылына 120 кун 0 С температураны ұстап тұра алады.

Тірек сөздер: *мұздату техникасы, түнгі радиациялық салқындату, тиімді сәуле шығару, табиғи салқындату салқындатудың альтернативті әдістері.*

In this paper the simulation of the night radiative cooling system for its use throughout the year in a climate of Almaty is made. In the system an aqueous solution of ethylene glycol is used as the coolant. Radiators are made of aluminum sheet and tube. The results of the calculation of the temperature in the cool storage tank at the end of each night of the year are shown. We also calculated energy consumption of the pump and system's coefficient of performance depending on the temperature of the cooled object. As a result of the work it was found that the proposed system can produce a temperature 3 C below the minimum air temperature for the night. When the temperature of cooled object is 0 ºC, the average cooling rate of the

system is 6.7 units throughout winter months. The system can maintain the temperature 0 °C for 120 days per year.

Keywords: *refrigeration, nighttime radiative cooling, the effective radiation, free cooling, alternative cooling methods.*

В настоящее время холодильные машины по разным данным потребляют от 15 до 25 % от всей вырабатываемой электроэнергии [1, 2]. Одним из способов охлаждения, способных снизить общий уровень энергопотребления холодильными машинами, является ночное радиационное охлаждение (НРО). Данный способ предполагает передачу теплоты в окружающую среду за счет теплового излучения инфракрасного диапазона, уходящего через атмосферу Земли в окружающее космическое пространство.

В последние годы проведено значительное количество работ по изучению систем НРО. Большинство авторов в своих работах главным образом рассматривают возможность применения систем НРО для поддержания температуры воздуха в жилых зданиях (около 22…25 °С) [3–5]. Продолжительность периода, когда холодильная система может применяться подобным образом, сравнительно невелика. В условиях резко-континентального климата в жилых зданиях зачастую системы кондиционирования необходимы лишь несколько месяцев году. Остальную часть года холодильные машины систем кондиционирования простаивают.

Многими авторами было отмечено, что при низких температурах ночного воздуха, наблюдаемых в осенний, зимний и весенний периоды, системы НРО могут производить значительно большее количество холода, чем летом [6]. Поэтому в данной работе предлагается рассмотреть возможность работы систем НРО для получения температур в области 0°С и оценить продолжительность работы системы в таком режиме. Также важно сопоставить холодопроизводительность системы с энергозатратами на её работу.

Для решения поставленных задач предполагается исследовать работу системы, представленной на рисунке 1.

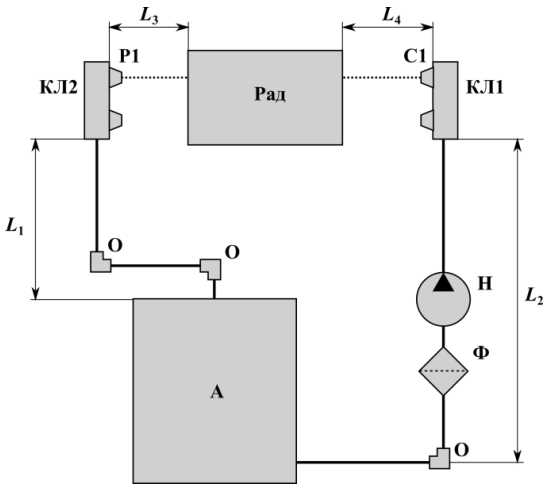


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы НРО: КЛ1 и КЛ2 – распределительный и собирающий коллектор; О – отводы прямые (90°); Ф – фильтр; Н – насос; С1 – сужение внезапное; Р1 – расширение внезапное; Рад – радиатор; КЛ1 и КЛ2 – коллекторы

Основными элементами данной системы являются охлаждающее устройство (радиатор), аккумулятор холода и насос для циркуляции теплоносителя.

Система работает следующим образом. В ночное время, когда отсутствует приток от солнечной радиации, излучающая поверхность радиатора за счет эффективного охлаждения охлаждается ниже температуры уличного воздуха. Теплоноситель подается насосом из аккумулятора холода в радиатор, где охлаждается. Далее теплоноситель сливается обратно в аккумулятор холода, где храниться в течение следующего дня.

Процесс отдачи тепла в окружающую среду происходит в радиаторе. В данном случае в качестве радиатора предлагается использовать конструкцию, представленную на рисунке 2.

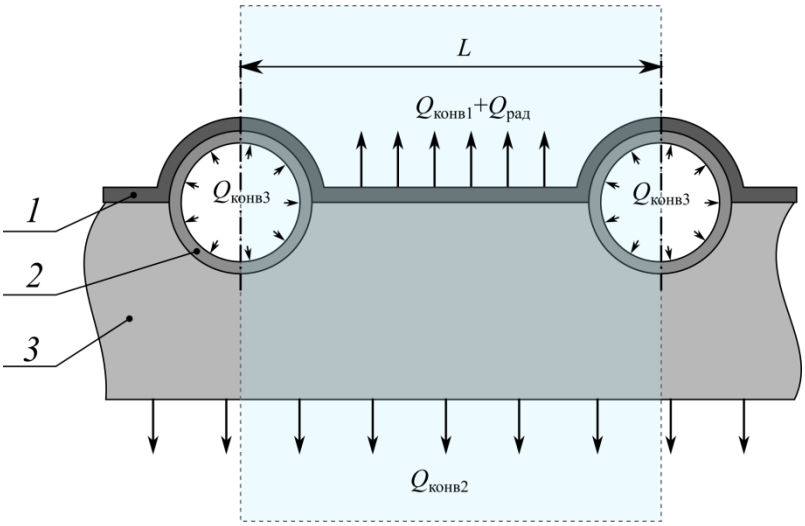


Рисунок 2 – Схема для моделирования процессов теплообмена в радиаторе
1 – излучающая пластина; 2 – трубки для теплоносителя; 3 – слой теплоизоляции

Данная модель состоит из набора параллельных алюминиевых труб. Сверху трубы накрыты алюминиевым листом, толщиной 1 мм. Снизу труб уложен слой теплоизоляции. Данная модель радиатора более удобна в изготовлении, чем предложенная в работе [7].

Путем моделирования в среде Elcut [8] процессов теплообмена, происходящих в радиаторе, как это было предложен в работе [3], было установлено, что оптимальное расстояние между трубками с теплоносителем L равно 100 мм. Более плотная укладка не даст увеличения теплового потока, но значительно увеличит стоимость конструкции.

Установлено, что рекомендуемый объемный расход теплоносителя (раствора этиленгликоля) для данной модели радиатора составляет 0,3 л/с.

Путем проведения многофакторного эксперимента была получена линейная зависимость для определения холодопроизводительности радиатора в зависимости от температуры теплоносителя, уличного воздуха и условной температуры ночного неба:

$$q_р = -4{,}965 + 16{,}5831 \cdot t_{тн} - 10{,}8567 \cdot t_в - 5{,}8459 \cdot t_н + 0{,}0033 \cdot t_{тн} \cdot t_в + \\ + 0{,}0019 \cdot t_{тн} \cdot t_н + 0{,}0003 \cdot t_в \cdot t_н - 0{,}000168 \cdot t_{тн} \cdot t_в \cdot t_н. \quad (1)$$

где $q_р$ – удельная холодопроизводительность, Вт/м^2;

$t_{тн}$ – температура теплоносителя, °С;

$t_в$ – температура атмосферного воздуха, °С;

$t_н$ – условная температура ночного неба, °С. Может быть рассчитана по методикам, описанным в работах [6,9] или [10].

Зависимость справедлива при изменении температуры воздуха, теплоносителя и ночного неба в диапазоне от –30 до +30 °С.

В представленной формуле не учитывается скорость движения теплоносителя в трубках радиатора, так как установлено, что при скорости движения теплоносителя более 0,1 м/с данный параметр не будет оказывать существенного влияния на холодопроизводительность. Стоит также отметить, что представленная зависимость справедлива при условии, что коэффициент теплоотдачи от теплоносителя стенке трубы более 300 Вт/(м^2·К). При этом не имеет значение, какой теплоноситель прокачивается через радиатор (раствор этиленгликоля или вода).

Площадь излучающей поверхности радиатора, используемого в системе: 2 м^2.

В качестве аккумулятора холода в системе НРО используется кубовая пластиковая емкость (еврокуб), покрытая слоем минеральной ваты толщиной 5 см. Теплоприток через стенки трубопроводов может быть рассчитан по стандартным методикам [11]. Аккумулятор холода и все трубопроводы системы заполнены водным раствором этиленгликоля с объемной концентрацией 50 %. Физические свойства раствора этиленгликоля приняты согласно данным [12]. Масса теплоносителя в аккумуляторе холода 196 кг.

Радиаторы расположены на высоте 3 м над аккумулятором насосом, забирающим теплоноситель из аккумулятора холода.

Также учитывается приток тепла от обмотки электродвигателя насоса через его вал. Для циркуляции теплоносителя целесообразно использовать малый центробежный насос с сухим ротором. Его КПД составляет 56 %. Если в систему заправлен раствор этиленгликоля, потребляемая насосом мощность будет зависеть от температуры теплоносителя и изменятся в диапазоне от 36 Вт при температуре теплоносителя 0 °С и до 60 Вт при температуре теплоносителя –30 °С. Поступление тепла от насоса к теплоносителю в данном случае не превысит 10 Вт.

Трубопроводы системы выполнены из полипропиленовой трубы с внутренним диаметром 25 мм и покрытые теплоизоляцией из вспененного полиэтилена толщиной 9 мм.

На основе представленных данных была разработана компьютерная модель системы в среде SciLab [13]. Далее в компьютерную модель подставлены данные об изменение параметров атмосферного воздуха в течение одного года в городе Алматы, согласно записям от 2014 года [14].

Начальную температура аккумулятора холода в каждую из ночей в году примем равной 25°С. В результате определим зависимости изменения температур в течение каждой ночи, а также количество холода и средний холодильный коэффициент системы за сутки.

В первую очередь представим данные об температуре теплоносителя в аккумуляторе холода к концу каждой ночи (см. рисунок 3).

Далее сопоставим температуру в аккумуляторе холода в конце ночи с минимальной температурой уличного воздуха за ночь (см. рисунок 4). Как видно из графика температура в аккумуляторе холода к концу ночи может быть на 1–3 °С ниже минимальной за ночь температуры воздуха.

Далее подсчитаем, как часто в аккумуляторе холода будет устанавливаться та или иная температура. Для этого построим график, в котором по вертикальной оси задана температура, а по вертикальной оси количество ночей в году, когда температура в

аккумуляторе была равна или ниже заданного значения температуры по горизонтальной оси (см. рисунок 5).

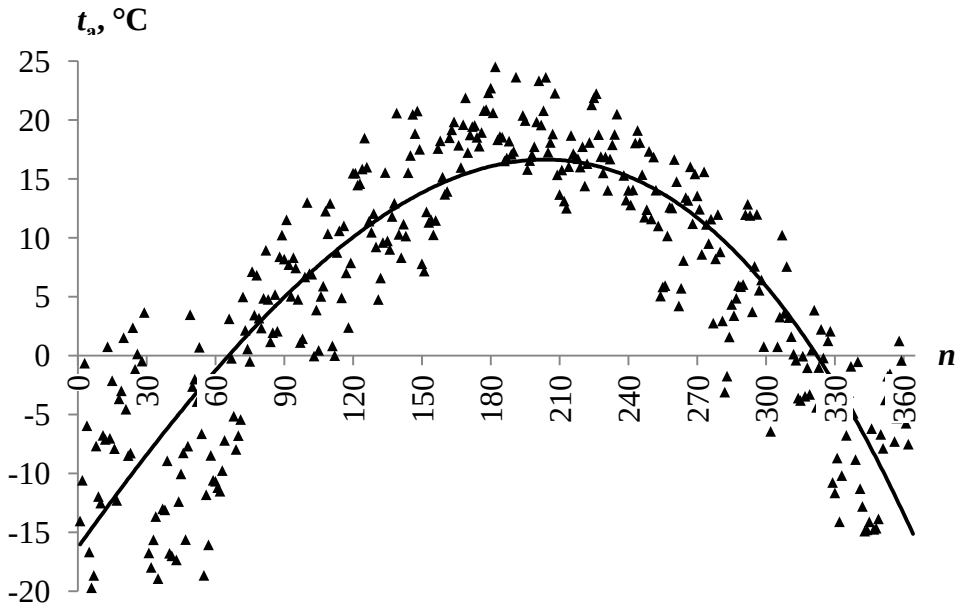


Рисунок 3 – Температура в аккумуляторе холода в конце каждой из ночей в году (t_{a0}=25 °C)

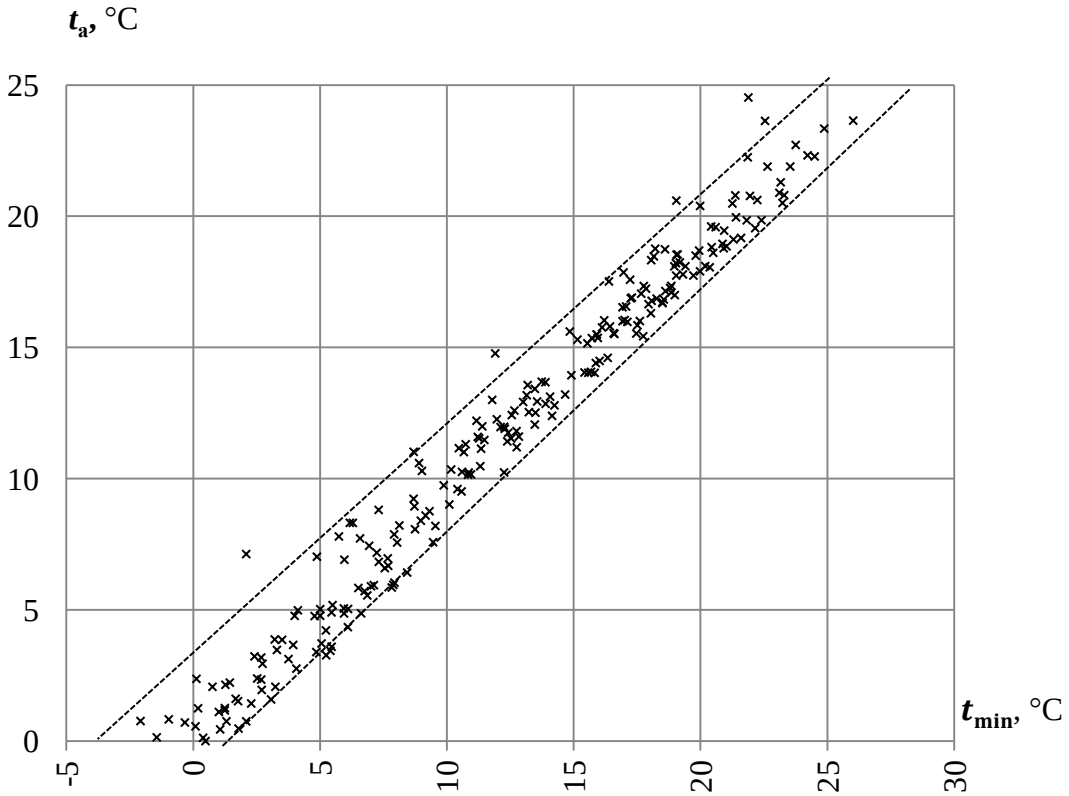


Рисунок 4 – Зависимость температуры в аккумуляторе холода к концу ночи t_a от минимальной температуры воздуха, наблюдавшейся за ночь t_{min}

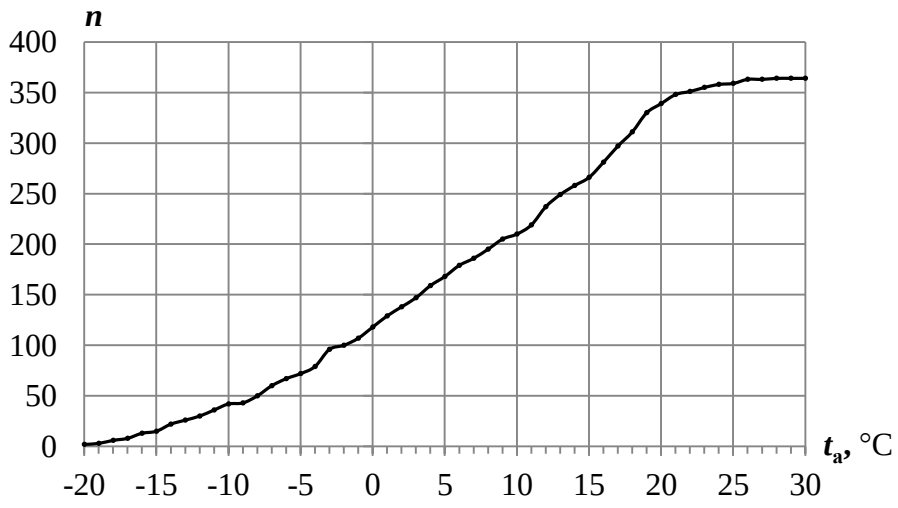


Рисунок 5 – Количество дней в году, когда температура в аккумуляторе холода к концу ночи достигла заданного значения

Как видно из графика температура ниже 0 °C в аккумуляторе холода устанавливается около 120 ночей в году.

Зная массу теплоносителя $m_а$ в аккумуляторе холода, его температуру и температуру объекта, который должен быть охлажден, можно легко определить запас холода. Если считать изменение теплоемкости раствора этиленгликоля линейным в зависимости от температуры, количество запасенного холода в каждую из ночей в году можно вычислить при известных температуре в аккумуляторе ($t_{ак}$) в конце ночи и температуре охлаждаемого объекта $t_{об}$.

$$Q = m_а\left[3{,}98\left(\frac{t_{об}^2 - t_{ак}^2}{2}\right) + 3203{,}1\left(t_{об} - t_{ак}\right)\right]. \quad (2)$$

Результаты расчета запаса холода в аккумуляторе с раствором этиленгликоля массой 196 кг представлены на рисунке 6.

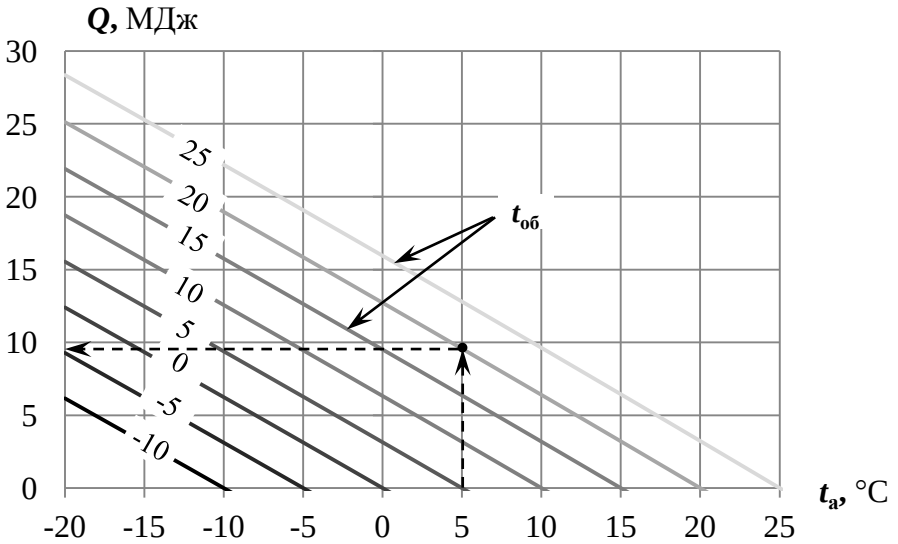


Рисунок 6 – Запас холода в аккумуляторе холода Q в зависимости от температуры в аккумуляторе $t_а$ и температуры охлаждаемого объекта $t_{об}$ ($m_а$=196 кг)

Например, если известно, что температура в аккумуляторе холода $t_а$=5 ºС, а требуемая температура охлаждаемого объекта $t_{об}$ =20 ºС, то запас холода в аккумуляторе Q=9 МДж.

Далее рассмотрим энергопотребление насоса системы НРО (см. рисунок 7). При этом необходимо учитывать, что наименьшие затраты энергии будут наблюдаться, если контур циркуляции теплоносителя будет замкнутым. Тогда значительно сократиться расходы на подъем теплоносителя на высоту расположения радиаторов (кривая 2). Если же конур оставить открытым, расход энергии возрастет практически в два раза (кривая 1).

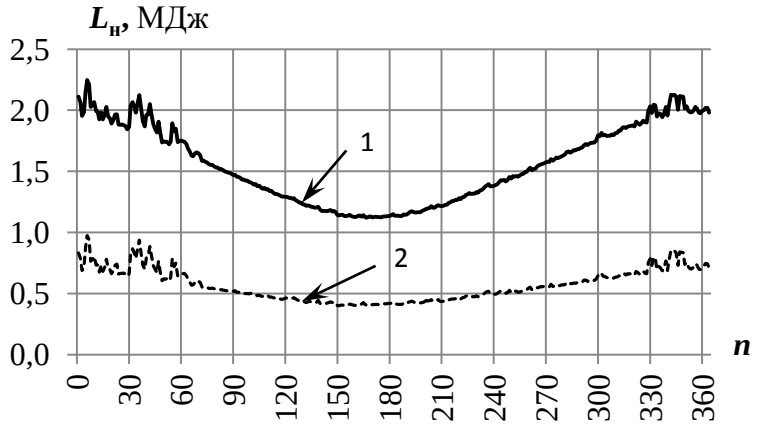


Рисунок 7 – Энергопотребление насоса за каждую из ночей в году: 1 – при подъеме теплоносителя на высоту 3 м и разомкнутом гидравлическом контуре; 2 – при расположении радиатора и аккумулятора на одной высоте (или при замкнутом гидравлическом контуре)

Снижение потребления энергии к середине года связано с уменьшением продолжительности ночи и снижением вязкости теплоносителя с повышением температуры в летнее время.

Зная температуру в аккумуляторе к концу ночи и общий уровень энергопотребления насоса за ночь, можно рассчитать холодильный коэффициент системы при различной температуре охлаждаемого объекта (см. рисунок 8).

В случае разомкнутого гидравлического контура (рисунок 8,а). В зимнее время при температуре охлаждаемого объекта 0 °С холодильный коэффициент системы НРО не превышает значения 4…5.

Холодильный коэффициент можно увеличить, если радиаторы и аккумуляторы холода расположить на одном уровне или сделать трубопровод замкнутым (при этом сократятся потери энергии на подъем жидкости к радиаторам) и свести к минимуму протяженность трубопроводов системы и их гидравлическое сопротивление (см. рисунок 8,б). В этом случае холодильный коэффициент значительно возрастает (более чем в два раза) и при температуре охлаждаемого объекта 0 ºС в среднем за зиму составляет 6,7 единиц. Если же система будет поддерживать температуру 25°С, то среднегодовое значение холодильного коэффициента достигнет 20,5 единиц.

Таким образом, преимуществом разработанной холодильной системы можно считать достаточно высокую ее энергетическую эффективность. Однако работа системы не является стабильной. Особенно это проявляется при температурах охлаждаемого объекта от 0 °С и ниже. Учитывая также, что температура, которую можно будет получить при помощи НРО, всего на 3 °С ниже минимальной за ночь температуры воздуха, использовать такую систему для стабилизации температры в течение всего года на данный момент невозможно. Поэтому

НРО следует рассматривать как дополнительный способ, используемый совместно с традиционными парокомпрессионными холодильными машинами.

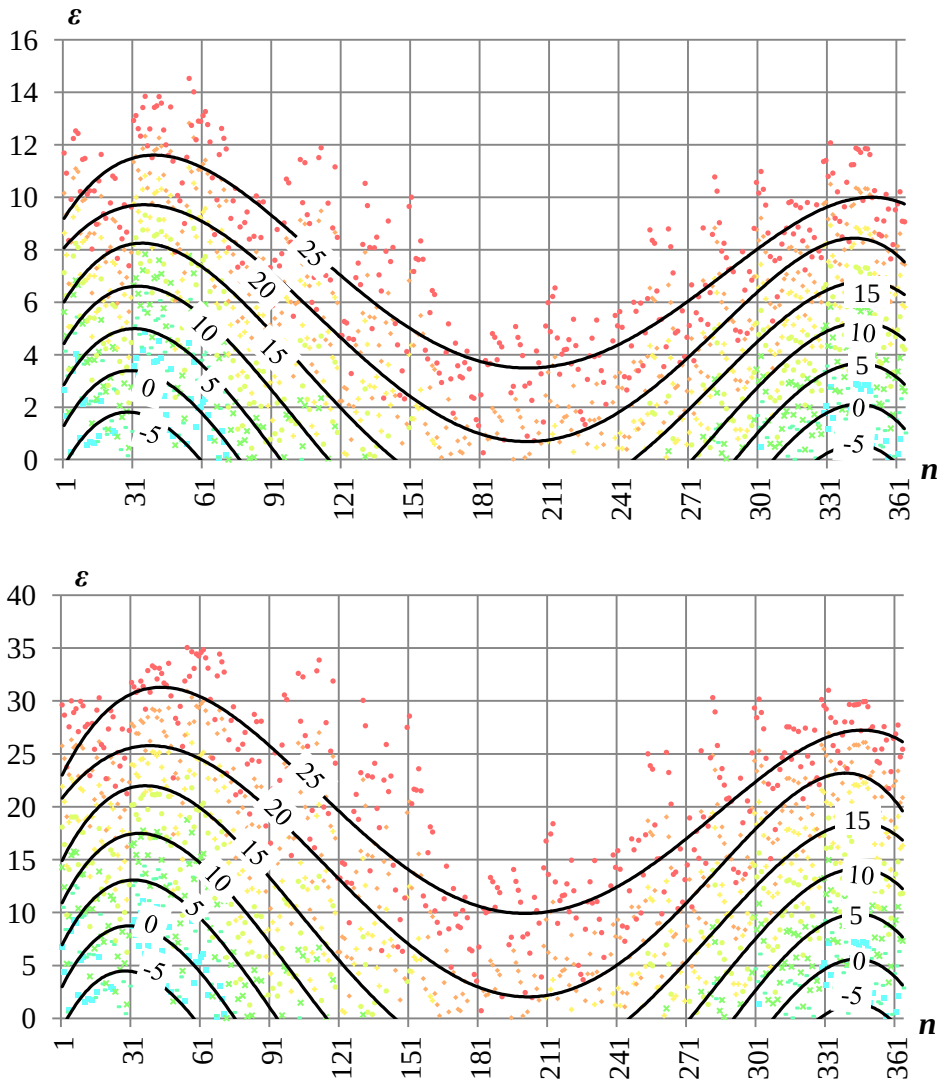


Рисунок 8 – Изменение среднесуточного холодильного коэффициента системы в течение года при различной температуре охлаждаемого объекта: а – при подъеме теплоносителя на высоту 3 м при разомкнутом гидравлическом контуре; б – при расположении радиатора и аккумулятора на одной высоте (или при замкнутом гидравлическом контуре)

В дальнейших работах рекомендуется рассмотреть возможность использования предлагаемой системы НРО в условиях резкоконтинентального климата для поддержания температуры в фрукто– и овощехранилищах.

Литература:

1. Гулбрандсен Т.Х., Падалко Л.П., Червинский В.Л. Энергоэффективность и энергетический менеджмент – Минск: БГАТУ, 2010. – 240 с.

2. Ховалыг Д.М., Синицина К.М., Бараненко А.В., Цой А.П. Энергоэффективность и экологическая безопасность техники низких температур // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2014.– № 1. – [Электронный ресурс]: http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/file/article/8621.pdf

3. Sima J., Sikula O., Kosutova K., Plasek J. Theoretical Evaluation of Night Sky Cooling in the Czech Republic // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 48. – P. 645–653.

4. Ferrer Tevar J.A., Castano S., Garrido Marijuan A., Heras M.R., Pistono J Modelling and experimental analysis of three radioconvective panels for night cooling // Energy Build.– 2015. – Vol. 107. – P. 37–48.

5. Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д.А. Применение холодильных систем, использующих эффективное излучение в космическое пространство в кондиционировании // Известия НТО “КАХАК.” – 2013. – № 3 (42).– С. 77–82.

6. Zhang S. , Niu J. Cooling performance of nocturnal radiative cooling combined with microencapsulated phase change material (MPCM) slurry storage // Energy Build. – 2012. – Vol. 54. – P. 122–130.

7. Цой А.П., Грановский А.С. Математическая модель для расчета теплового баланса радиатора холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство / А.П. Цой, А.С. Грановский // Вестник Международной Академии Холода. – 2015. – № 1. – С. 39–43.

8. ELCUT Студенческий: 6.0.0.1508. [Электронный ресурс]. – Компьютерная программа. – СПб. : ООО «Тор», 2013. – URL: http://elcut.ru/.

9. Цой А.П., Грановский А.С., Цой Д.А. Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство // Холодильная техника. – 2014. – № 12. – С. 36–41.

10. Samuel D.G.L., Nagendra S.M.S., Maiya M.P. Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review // Build. Environ. – 2013. – Vol. 66. – P. 54–64.

11. Мухачев Г.А. Термодинамика и теплопередача : Учеб. для авиац. вузов. – 3-е изд. – Москва: Высшая школа, 1991. – 480 с.

12. CoolPack v1.5. – Lyngby-Taarbæk Kommune: Department of Mechanical Engineering, Section of Energy Engineering at the Technical University of Denmark, 2012.

13. SciLab: 5.5.2 (64 bit) [Электронный ресурс]. – Компьютерная программа. – Versailles: SciLab Enterprises, 2015. – URL: http://www.scilab.org/.

14. Расписание погоды rp5 [Электронный ресурс]. – Архив данных о погоде по городам мира. 2014. – URL: http://rp5.kz.

Поступила 5 сентября 2015 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1.	Ажиева Г.И.	–	к.т.н., ассоциированный профессор Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)
2.	Алимова К.К.	–	к.т.н., доцент кафедры инженерные системы и сети Казахского национального исследовательского технического университета им. К. И. Сатпаева
3.	Ахмеджанов А.Х.	–	д.т.н., Институт космической техники и технологий АО "Национальный центр космических исследований и технологий"
4.	Ахметова Г.С.	–	д.х.н., в.н.с. АО «Институт химических наук им.А. Б. Бектурова»
5.	Бектурганов Н.С.	–	д.т.н., профессор, академик НАН РК, первый вице-президент Казахстанской национальной академии естественных наук
6.	Грановский А.С.	–	магистр технических наук, ТОО «Тениз» (Школа холода, автоматики и электроники), Алматы, Республика Казахстан
7.	Дауренбеков Д.А.	–	докторант PhD кафедры технической физики Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан
8.	Жараспаева Г.Ж.	–	к.т.н., ассоциированный профессор, Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)
9.	Жумагулова Р.Е.	–	к.т.н., ассоциированный профессор, Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)
10.	Ибраимбек А.К.	–	магистрант по специальности химическая технология органических веществ АО «Казахстанско-Британский технический университет»
11.	Идрисова Р.	–	к.х.н, профессор Казахского национального аграрного университета
12.	Ильин А.И.	–	д.х.н., академик Казахстанской национальной академии естественных наук, президент АО «Научный центр противоинфекционных препаратов»
13.	Иорданиди Г.К.	–	к.х.н., научный консультант ТОО «ТаСКо-Алатау»
14.	Исмаил Е.Е.	–	к.т.н., заведующий лабораторией технического регулирования в сфере космической деятельности Института космической техники и технологий АО "Национальный центр космических исследований и технологий"

15.	Кайнарбай А.Ж.	–	к.ф-м.н., старший преподаватель кафедры технической физики Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан
16.	Караданов Т.К.	–	к.т.н., зав. лабораторией геомоделирования Института космической техники и технологий, АО "Национальный центр космических исследований и технологий"
17.	Карпов Н.П.	–	к.т.н., заместитель директора по науке ТОО «ТаСКо-Алатау», ФГУП «Российсий научный центр Прикладная химия», Санкт-Петербург, РФ
18.	Ким Д.С.	–	к.т.н., доцент отдела радиационной безопасности Института ядерной физики МЭ РК
19.	Леонова Н.В.	–	к.б.н., заведующий лабораторией микробиологии АО «Научный центр противоинфекционных препаратов»
20.	Мессерле В.Е.	–	д.т.н., профессор, академик Международной энергетической академии, зав. лабораторией плазмохимии Института проблем горения, г.н.с. НИИ Экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби
21.	Ногай А.С.	–	д.ф-м.н., профессор кафедры технической физики Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан
22.	Нурахметов Т.Н.	–	д.ф-м.н., профессор кафедры технической физики Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан
23.	Омиржанов К.З.	–	директор ТОО «ТаСКо-Алатау»
24.	Отеш А.	–	магистрант по специальности химическая технология органических веществ АО «Казахстанско-Британский технический университет»
25.	Пралиев К.Д.	–	д.х.н., профессор, академик НАН РК, заведующий лабораторией химии синтетических и природных лекарственных веществ АО «Институт химических наук им.А. Б. Бектурова»
26.	Садырбаева Ф.М.	–	PhD докторант по специальности химическая технология органических веществ АО «Казахстанско-Британский технический университет»
27.	Сейлханов Т.М.	–	к.х.н., руководитель лаборатории инженерного профиля ЯМР-спектроскопии Кокшетауского государственного университета им. Ш. Уалиханова

28.	Смаилова У.	–	магистрант Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
29.	Тажигулова Б.К.	–	к.т.н., ассоциированный профессор Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)
30.	Турсунов Т.Б.	–	PhD, генеральный директор ТОО «TXT Company», Алматы, Республика Казахстан
31.	Устименко А.Б.	–	д.т.н., зав. отделом теплофизики и технической физики НИИ Экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, директор ТОО «НТО Плазмотехника»
32.	Хегай В.	–	к.х.н., инженер ТОО «White House», Алматы, Республика Казахстан
33.	Хен В.А.	–	исполнительный директор, главный технолог ТОО «TXT Company», Алматы, Республика Казахстан
34.	Хен С.М.	–	консультант ТОО «TXT Company», Алматы, Республика Казахстан
35.	Цой А.П.	–	кандидат технических наук, профессор Алматинского технологического университета, Алматы, Республика Казахстан
36.	Цой Д.А.	–	магистр технических наук ТОО «Тениз», Алматы, Республика Казахстан
37.	Ю В.К.	–	д.х.н., г.н.с., профессор АО «Институт химических наук им. А. Б. Бектурова»
38.	Iskakov R.M.	–	д.х.н., профессор АО «Казахстанско-Британский технический университет»
39.	Khakimova A.	–	магистр, м.н.с. лаборатории интеллектуальных систем и энергоэффективности «National Laboratory Astana, Nazarbayev University», Республика Казахстан
40.	Seifullin B.	–	студент по специальности химическая технология органических веществ АО «Казахстанско-Британский технический университет»
41.	Shamshimova A.	–	магистр, м.н.с. лаборатории интеллектуальных систем и энергоэффективности «National Laboratory Astana, Nazarbayev University», Республика Казахстан
42.	Ten V.	–	к.т.н., Ph.D., руководитель лаборатории интеллектуальных систем и энергоэффективности «National Laboratory Astana, Nazarbayev University»,

			Республика Казахстан
43.	Tolep E.	–	магистрант по специальности химическая технология органических веществ АО «Казахстанско-Британский технический университет»
44.	Umbetova K.	–	магистрант по специальности химическая технология органических веществ АО «Казахстанско-Британский технический университет»
45.	Yessenbayev Zh.	–	Ph.D., с.н.с. лаборатории компьютерных наук «National Laboratory Astana, Nazarbayev University», Республика Казахстан

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

АХМЕТОВА Г.С., ИБРАИМБЕК А.К., САДЫРБАЕВА Ф.М. , ОТЕШ А.Ш., Ю В.К., ПРАЛИЕВ К.Д., ИЛЬИН А.И., ЛЕОНОВА Н.В. , СЕЙЛХАНОВ Т.М., ИДРИСОВА Р.
Фторбензоаты 1-(2-фенилэтил)-4-кетоксимпиперидина с противомикробной активностью 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

АХМЕДЖАНОВ А.Х., КАРАДАНОВ Т.К.
Изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы по спутниковым данным в Западном Казахстане 10

БЕКТУРГАНОВ Н.С., КАРПОВ Н.П., ИОРДАНИДИ Г.К., ОМИРЖАНОВ К.З.
Эколого–экономические предпосылки использования соломы как возобновляемого источника энергии 19

ИСМАИЛ Е.Е.
Сравнительный анализ моделей качества программных средств 24

КИМ Д.С., ЖУМАГУЛОВА Р.Е., ТАЖИГУЛОВА Б.К., ЖАРАСПАЕВА Г.Ж., АЖИЕВА Г.И.
«Казахстан – не полигон для экспериментов атомной энергетики» (одиннадцать аргументов в пользу строительства аэс в Казахстане) 33

МЕССЕРЛЕ В.Е., УСТИМЕНКО А.Б.
Плазменно-топливные системы для повышения энергоэффективности тепловых электростанций 47

НУРАХМЕТОВ Т.Н., НОГАЙ А.С., КАЙНАРБАЙ А.Ж. , ДАУРЕНБЕКОВ Д.А.
Повышение эффективности работы фотоэлектрических преобразователей для солнечных батарей 54

SEIFULLIN B., IBRAIMBEK A., TOLEP E., UMBETOVA K., ISKAKOV R., HEGAY V.
Development of electroconductive materials based on metallized polyimides as elements of flexible solar cells 60

СМАИЛОВА У.Е., АЛИМОВА К.К.
Совершенствование системы отопления. Исследование условий теплового комфорта в производственных помещениях большого объема 64

TEN V., YESSENBAYEV ZH., SHAMSHIMOVA A., KHAKIMOVA A.
Energy cost minimization for small building with renewable energy sources based on prediction control 70

ТУРСУНОВ Т.Б., ХЕН В.А., ХЕН С.М.
Альтернативное топливо из отходов сельскохозяйственного производства – соломы и прочей растительной биомассы 83

ЦОЙ А. П., ГРАНОВСКИЙ А. С., ЦОЙ Д. А.
Моделирование работы холодильной системы ночного радиационного охлаждения в условиях определенного климата 95

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 104

CONTENTS

CHEMISTRY

AKHMETOVA G.S., IBRAIMBEK A.K., SADYRBAYEVA F.M., OTESH A.ZH., YU V.K., PRALIYEV K.D., ILIN A.I., LEONOVA N.V., SEILKHANOV T.M., IDIRISOVA R.

1-(2-phenylethyl) -4-ketoximpiperidine fluorobenzoates possess anti-microbic activity 4

TECHNICAL SCIENCES

AKHMEDZHANOV A.H., KARADANOV T.K.

Development of algorithms of calculate atmospheric gas concentration based on the infrared radiation satellite data ……. 10

BEKTURGANOV N.S., KARPOV N.P., IORDANIDI G.K., OMIRZHANOV K.Z.

Ecological & economic pre-conditions for use of straw as a renewable energy source ……. 19

ISMAIL E.E.

Comparative analysis of software quality models ……. 24

KIM D.S., ZHUMAGULOVA R.YE., TAZHIGULOVA B.K., ZHARASPAYEVA G.ZH., AZHIYEVA G.I.

«Kazakhstan is not a test-site for the atomic energy experiments» (eleven arguments for NPP development in Kazakhstan) ……. 33

MESSERLE V.E., USTIMENKO A.B.

Plasma-fuel systems to increase energy efficiency of thermal power plants …… 47

NURAKHMETOV T.N., NOGAY A.S., KAYNARBAY A. ZU., DAURENBEKOV D.A.

Improv the efficency of photovoltaic cells for solar cells ……. 54

SEIFULLIN B., IBRAIMBEK A., TOLEP E., UMBETOVA K., ISKAKOV R., HEGAY V.

Development of electroconductive materials based on metallized polyimides as elements of flexible solar cells 60

SMAILOVA U.E., ALIMOVA K.K.

Improving the heating system. Investigation of thermal comfort conditions in the production of larger buildings ……. 64

TEN V., YESSENBAYEV ZH., SHAMSHIMOVA A., KHAKIMOVA A.

Energy cost minimization for small building with renewable energy sources based on prediction control……... 70

TURSUNOV T.B., KHEN V. A., KHEN S.M.

Alternative fuels from agricultural waste - straw and other plant biomass …….. 83

TSOY A.P., GRANOVSKIY A.S., TSOY D.A.

Simulation of operation of the night radiative cooling system under certain climate conditions 95

THE INFORMATION ABOUT AUTHORS…….. 107

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Журнал «Известия НТО «Кахак» публикует написанные на русском, казахском, английском и корейском языках оригинальные статьи, обзоры. Журнал дает информацию, связанную с деятельностью общества.
2. В оригинальных статьях могут рассматриваться результаты как теоретических, так и прикладных НИР.
3. Авторы, желающие опубликовать обзорную статью, должны предварительно согласовать ее тематику, представив аннотацию на 1-2 стр. В обзорах следует освещать темы, представляющие достаточно общий интерес по выбранной тематике или отражающие какой-либо важный аспект применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т.д. Допускается обобщение результатов многолетних исследований научных коллективов.
4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Статья должна начинаться с введения. В нем должны быть даны: содержательная постановка рассматриваемого в статье вопроса, краткие сведения по его истории, отличие предлагаемой задачи от уже известных, или преимущество излагаемого метода по сравнению с существующим. Основная часть статьи должна содержать формулировку задачи и предлагаемый метод ее решения, заключительная часть – краткое обсуждение полученных результатов и, если возможно, пример, иллюстрирующий их эффективность и способы применения.
5. Все статьи проходят именное рецензирование.
6. Авторы могут представить электронную версию своей статьи по адресу: **izv.ntokaxak@mail.ru**

Требования к оформлению рукописей

Статьи представляются в электронном виде в текстовом редакторе Word 97, формулы набираются с помощью редактора MS Equation 3.0 (2.0) или Chem Draw.

Шрифт Times New Roman 12 pt. Межстрочный интервал одинарный. Поля: верхнее – 2.0 см, нижнее – 2.0 см, левое – 2 см, правое – 2.0 см. Абзац – красная строка – 0,5 см.

Текст статьи должен начинаться с указания:

с левой стороны – индекса УДК, *ниже* приводятся:

– название статьи (прописные буквы, форматирование по центру),
– фамилии и инициалы авторов (прописные/светлые, форматирование по центру),
– название организации и ее местонахождение,
– e-mail авторов
– резюме (краткое изложение содержания статьи, дающее представление о теме и структуре текста, а также основных результатах),
– ключевые слова, обеспечивающие полное раскрытие содержания статьи (5 слов),
– текст статьи,
– список литературы,
– Ф.И.О. авторов, название статьи, резюме, ключевые слова на трех языках (на казахском, английском и русском).

Рисунки должны быть представлены в отдельном файле.

Статья представляется в ***doc*** или ***docx*** формате, а также идентичная копия в ***pdf*** формате, на электронный адрес журнала, в отдельных файлах дублируются рисунки, таблицы, графики, схемы, а также приводятся сведения об авторах (имя, отчество, ученая степень, ученое звание, служебный адрес, место работы, должность и телефоны для связи).

Ссылки на литературные источники в тексте приводятся в квадратных скобках. Библиографический список оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание: общие требования и правила составления».

Компьютерный набор и макетирование Ли У.П.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34
Тел. 8(727)-726774

Подписано в печать 19.10.2015 г.
Печать трафаретная. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная № 1.
Тираж 500 экз.

Отпечатано в «Print Express. Издательство и полиграфия»
Ул. Курмангазы/Мауленова 110/81
Тел. 8(727)-2726011, 8(727)-2726050