

УДК 621.311

UDC 621.311

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТАЛБЭК**

**MATHEMATICAL MODEL OF ENERGY
SUPPLY SYSTEM OF TERRITORIAL
AGRICULTURAL AND SILVICULTURAL BIO-
ENERGY SECTOR**

Медяков Андрей Андреевич
к.т.н.

Medyakov Andrey Andreevich
Cand.Tech.Sci.

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onychin Evgeny Mihailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Каменских Александр Дмитриевич
аспирант

Kamenskih Aleksandr Dmitrievich
postgraduate student

Анисимов Павел Николаевич
аспирант
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Anisimov Pavel Nikolaevich
postgraduate student
*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
Russia*

В статье рассмотрены особенности моделирования энергоснабжения территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса. Представлены принципы моделирования, описание модели процесса генерации

The article describes the characteristics of the modeling of energy supply of territorial agricultural and silvicultural bio-energy sector. It also presents the principles of modeling and description of the model of the generation process

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ
КОТЕЛЬНАЯ, ГЕНЕРАТОР СТИРЛИНГА, АБТН,
ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Keywords: CATALYTIC THERMAL PLANT,
GENERATOR STIRLING, ABTN, TECHNICAL
DECISIONS

Введение

В рамках математического моделирования энергосистемного уровня территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса необходимо детально рассмотреть возможности использования наиболее эффективных и перспективных технологий производства энергии. Для этого в рамках математической модели рассматривается энергетическая система, в которой предусмотрено использование:

- для генерации тепловой энергии каталитических теплофикационных установок, позволяющих повысить энергетическую и экологическую эффективность сжигания топлива;

- для генерации электрической энергии Стирлинг-генераторов, позволяющих повысить электрический КПД установок и использовать в качестве топлива - щепу и пеллеты;

- для охлаждения в технологическом цикле абсорбционного бромистолитиевого теплового насоса, который позволяет использовать низкопотенциальную теплоту для обогрева на производстве или в коммунально-бытовом секторе.

При этом математическая модель должна учитывать особенности использования представленных устройств как по отдельности, так и в рамках комплекса. Для этого в частности в математической модели учитывается использование теплового насоса для утилизации теплоты дымовых газов, образующихся при сжигании топлива для производства электрической и тепловой энергии. Так же в математической модели учитывается постоянное охлаждение рабочего тела Стирлинг-генератора посредством теплонасосной установкой.

Таким образом, рассмотрение в рамках математической модели совместно используемых наиболее эффективных и перспективных генерирующих и утилизирующих установок позволяет оценить эффективность функционирования всего территориального агролесоводственного комплекса.

Принципы моделирования

Для моделирования был выбран метод, представленный на рисунке 1. Сначала осуществляется ввод входных величин, которые представляют собой параметры объекта моделирования и внешние параметры моделирования (совокупность внешних условий, присущих району, на разных этапах моделирования). Важным моментом является подстановка параметров в расчетную часть, в рамках которой определяется характер влияния (функциональный, случайный) и условия изменения параметров с течением времени.

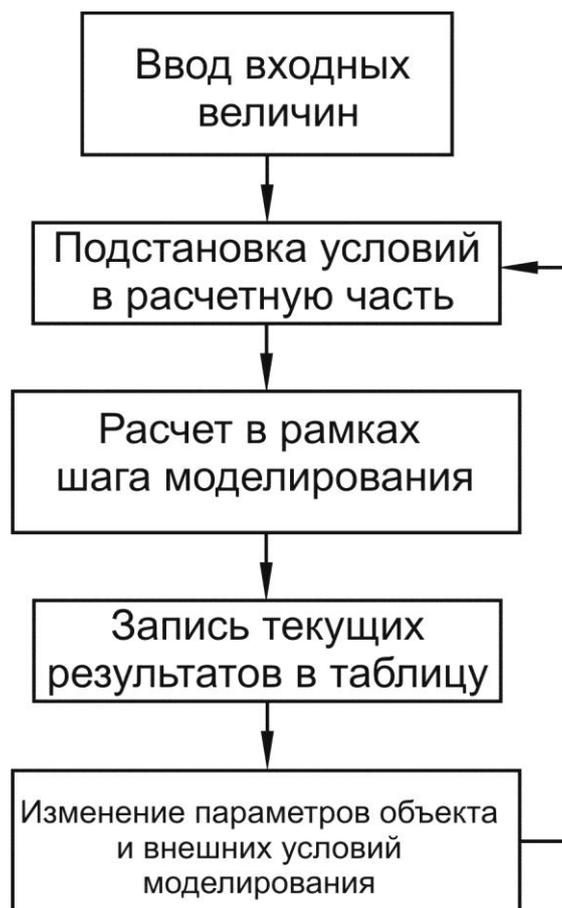


Рисунок 1 - Общий принцип моделирования цикла работы энергетической системы ТАЛБЭЖ

При расчетах в рамках шага моделирования принимается, что условия являются постоянными, и расчет ведется по формулам для стационарных процессов производства и преобразования энергии. Шаг моделирования выбирается с учетом соблюдения постоянства условий в течение него.

Затем осуществляются запись значений для шага моделирования в таблицу результатов. Производится изменение внешних условий в зависимости от их циклических колебаний.

Измененные в течение шага входные параметры подставляются в расчетную часть на следующем шаге моделирования.

Рассмотрим основные этапы моделирования применительно к модели энергетической системы ТАЛБЭЖ, реализованной в среде Microsoft Office Excel, более подробно.

Процесс генерации энергии

При моделировании процесса генерации энергии рассматривались особенности функционирования генерирующего оборудования в рамках комплекса, возможности обеспечения потребностей ТАЛБЭК в энергии при условии покрытия собственных затрат оборудования.

На рисунке 2 представлен общий принцип моделирования процессов функционирования энергетической системы. Для определения общих потребностей ТАЛБЭК в энергии необходимо учитывать потребности генерирующего оборудования, что оказывается достаточно сложно определить однозначно ввиду взаимосвязи генерации одного вида энергии с другим. В связи с этим при моделировании используется итерационный подход к вычислениям.

Первоначально используются значения требуемой ТАЛБЭК энергии без учета генерирующего оборудования (нетто). По значениям нагрузки-нетто по электрической, тепловой энергии и холоду определяются потребности генерирующего оборудования:

для *стирлинг-генератора* – эл. энергия Г.С., отопление помещений Г.С., охлаждение Г.С., *топливо* для работы Г. С.;

для *каталитической котельной* – эл. энергия К.К., отопление помещений К.К., *топливо* для работы К.К.;

для *абсорбционного бромистолитиевого теплового насоса* – эл. энергия АБТН, отопление помещений АБТН, *топливо* для работы АБТН.

Затем потребности генерирующего оборудования суммируются с потребностями ТАЛБЭК нетто и вычисления повторяются итерационно до достижения требуемой точности. В результате в конце вычисления используемые первоначально значения требуемой ТАЛБЭК энергии будут включать в себя потребности генерирующего оборудования (брутто). Также в конце вычислений по сумме топлива для работы генерирующих

установок определяются потребности в биомассе на собственные нужды ТАЛБЭК.

Потребности генерирующего оборудования определяются на основании зависимостей, полученных в результате обзора представленных на рынке установок, в соответствии с приведенными зависимостями:

для стирлинг-генераторов

$$PX_{\text{дс}} = 1,2889 * P_{\text{Эдс}} + 12,408 \quad , \quad (1)$$

где $PX_{\text{дс}}$ - потребность в холоде, $P_{\text{Эдс}}$ - производительность по электроэнергии;

$$PT_{\text{дс}} = 3,54 * P_{\text{Эдс}} \quad (2)$$

где $PT_{\text{дс}}$ - потребность в топливе, $P_{\text{Эдс}}$ - производительность по электроэнергии;

где $T_{\text{абтн}}$ - производительность по теплу, $X_{\text{абтн}}$ - производительность по холоду;

$$PT_{\text{абтн}} = 1,4795 * X_{\text{абтн}} + 264,85, \quad (4)$$

где $PT_{\text{абтн}}$ - потребность в топливе, $X_{\text{абтн}}$ - производительность по холоду;

$$PЭ_{\text{абтн}} = 0,0065 * X_{\text{абтн}} + 3,4425, \quad (5)$$

где $PЭ_{\text{абтн}}$ - потребность в электроэнергии, $X_{\text{абтн}}$ - производительность по холоду;

для каталитической котельной

$$PT_{\text{кк}} = T_{\text{кк}} / 0,93 \quad , \quad (6)$$

где $PT_{\text{кк}}$ - потребность в топливе, $T_{\text{кк}}$ - производительность по теплу;

$$PЭ_{\text{кк}} = 0,027 * T_{\text{кк}} \quad (7)$$

где $PЭ_{\text{кк}}$ - потребность в электроэнергии, $T_{\text{кк}}$ - производительность по теплу.



Рисунок 2 – Принцип моделирования процессов функционирования энергетической системы

для абсорбционного бромистолитиевого теплового насоса

$$T_{абтн} = 2,5849 * X_{абтн} + 75,526, \quad (3)$$

E	F	G
<i>Утилизация и производство энергии</i>	НЕТТО-Вых.	БРУТТО-Вых.
требуемое производство эл.энергии, кДж	38917019,65	48271270,87
требуемое производство тепла, кДж	546298319,6	546764439,2
требуемое производство холода, кДж	28378825,3	111888123,9
АБТН		
<i>производство</i>		Энергия, кДж
Тепловая мощность насоса, кВт	3287,311333	284023699,1
Холодильная мощность, кВт	1295,001434	111888123,9
<i>затраты</i>		
Тепловые потери, кВт	230,1117933	
Подводимая тепловая мощность (топливо), кВт	2222,421692	192017234,2
Эл. Энергия на цикл ТН, кВт	32,87311333	2840236,991
Эл. Эн на подачу топлива (опилок) шнековым транспортёром, кВт	0,0165	1425,6
Эл. Эн на дутьевой вентилятор, кВт	0,00825	712,8
Эл. Эн на автоматику, кВт	0,0033	285,12
Объем маш. залов АБТН, м3	114,8610205	
Затраты на отопление маш. залов АБТН, кДж		162112,9918
<i>Стирлинг</i>		
<i>Производство</i>		
Электрическая мощность НЕТТО (с учетом части затрат на собст. нужды), кВт	558,6952647	48271270,87
<i>Затраты</i>		
холод на работу, кВт (тепло получаемое от Стирлинга)	966,5428079	83509298,6
Подводимая теплота (топливо), кВт	1977,781237	170880298,9
Эл. Эн на подачу топлива (опилок) шнековым транспортёром, кВт	19,77781237	1708802,989
Объем маш. залов Стирлинг, м3	4,083979249	
Затраты на отопление маш. залов Стирлинг, кДж		5764,062445
<i>Каталитическая котельная</i>		
<i>Производство</i>		
Тепловая мощность, кВт	3040,980787	262740740
<i>Затраты</i>		
Подводимая теплота (топливо), кВт	3269,871814	282516924,8
Эл. Эн на подачу топлива (опилок) шнековым транспортёром, кВт	32,69871814	2825169,248
Эл. Эн на дутьевой вентилятор, кВт	16,34935907	1412584,624
Эл. Эн на автоматику, кВт	6,539743629	565033,8495
Объем котельного цеха, м3	211,3121308	
Затраты на отопление котельного цеха, кДж		298242,5334

Рисунок 3 - Общий вид модуля генерации энергии

В соответствии с общим принципом, представленным на рисунке 2, и зависимостями (1-7) модуль генерации энергии был реализован в среде Microsoft Office Excel, следующим образом (Рисунок 3). В рамках Microsoft Office Excel итерационные вычисления реализованы с точностью 0,001 при этом максимальное количество итераций - 100.

Общая схема реализованного модуля генерации энергии представлена на рисунке 4.

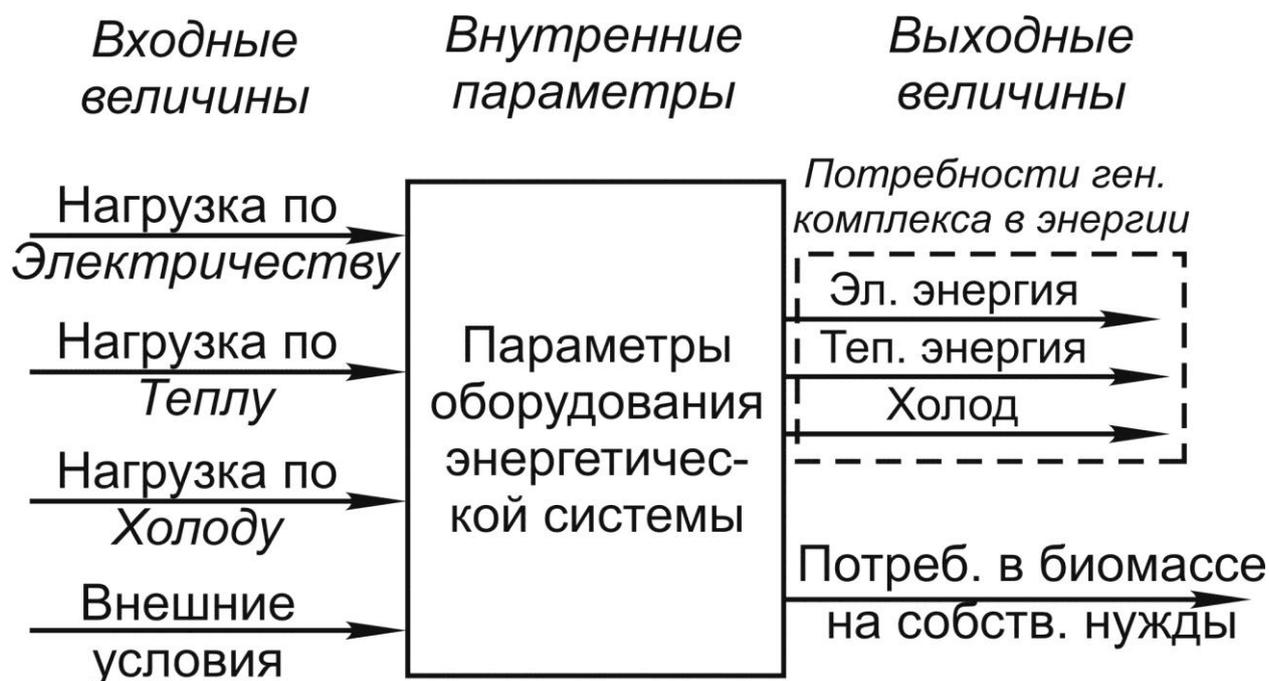


Рисунок 4 - Схема модуля генерации энергии

Входными величинами модуля являются нагрузка ТАЛБЭК по теплу (кДж/сут), по электроэнергии (кДж/сут), холоду (кДж/сут) и внешние условия (климатические условия). Для учета случайного характера внешних условий аналогично предыдущему модулю используется функция возвращения обратного нормального распределения для расчета текущих значений по заданным значениям математического ожидания и стандартного отклонения.

В рамках модуля на основе параметров генерирующего оборудования энергетической системы определяются следующие выходные величины:

потребности генерирующего комплекса в энергии в виде электрической, тепловой энергии и холода (кДж/сут);

потребности ТАЛБЭК в биомассе в виде топлива на собственные нужды (т/сут).

Для расчета требуемой (максимальной) мощности оборудования и соответственно его материалоемкости используется дополнительный расчетный лист, в котором из заданных входных параметров,

изменяющихся в процессе моделирования, выбираются такие, которые соответствуют максимальному поступлению биомассы в течение года и максимальному потреблению энергии. В соответствии с этим условием рассчитываются параметры производительности отдельных элементов модуля, которые позволяют определить материалоемкость оборудования. Для определения материалоемкости оборудования использованы зависимости, полученные в результате обзора представленных на рынке установок:

для стирлинг-генераторов

$$M_{\text{дс}} = 3,1438 * P_{\text{Эдс}} + 81,045,.$$

где $M_{\text{дс}}$ – масса стирлинг-генератора, $P_{\text{Эдс}}$ – производительность по электроэнергии;

для абсорбционного бромистолитиевого теплового насоса

$$M_{\text{абтн}} = 0,0041 * X_{\text{абтн}} + 9,0512,$$

где $M_{\text{абтн}}$ – масса абсорбционного бромистолитиевого теплового насоса, $X_{\text{абтн}}$ – производительность по холоду;

для каталитической котельной

$$M_{\text{кк}} = 0,0038 * P_{\text{Ткк}} + 0,6353,$$

где $M_{\text{кк}}$ – масса каталитического котла, $P_{\text{Ткк}}$ – производительность по теплу.

Для определения потребностей жителей ТАЛБЭК в тепловой и электрической энергии был проведен анализ статистических данных за 2010-2012гг. относительно республики Марий Эл. В результате анализа при моделировании удельная величина потребления электрической энергии на одного проживающего была принята равной 491,78 квт.час в год, удельная величина потребления тепловой энергии на отопления на одного проживающего была принята равной 4,6 Гкал в год, удельная величина потребления тепловой энергии на горячее водоснабжение на одного проживающего была принята равной 0,66 Гкал в год. При этом

были учтены перечень и расчетные показатели минимальной обеспеченности социально-значимыми объектами повседневного (приближенного) обслуживания на территории городских и сельских населенных пунктов, а также показатели количества и вместимости учреждений и предприятий обслуживания территорий малоэтажной жилой застройки.

Выводы

Таким образом, разработанная математическая модель энергетической системы территориального агролесоводственного биоэнергетического комплекса позволяет исследовать возможности использования наиболее эффективных и перспективных в настоящее время установок генерации и утилизации энергии в рамках комплекса и может быть использована при оптимизации технологических процессов на производстве.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (Государственный контракт № 16.552.11.7089) при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографический список

1. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки / Д. Бойлс, под ред. Е. А. Бирюковой. – М.: Агропромиздат, 1987. – 152с.]
2. Лукьянов Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Б. Н. Лукьянов, Н. А. Кузин, В. А. Кириллов, В. А. Куликов, В. Б. Шигаров, М. М. Данилова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – №9. – с. 667 – 677
3. Каталитические теплогенераторы Серия КТГ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.enerob.ru/img/Buklet/Buklet.pdf>, свободный.
4. Котельные на базе каталитических теплофикационных установок [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://ts-s.ru/upload/buklet/kotelnye_na_baze_KTU.pdf, свободный.

5. Автономные электростанции – выбор – практические рекомендации [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.manbw.ru/analytics/autonomous-station-choice.html>, свободный.

6. Газотурбинные установки — ГТУ [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.manbw.ru/analytics/gas-turbine_units_power_station_power_plant.html, свободный.

7. Газопоршневые электростанции (ГПЭС–ГПУ) [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.manbw.ru/analytics/gazoporshnevy_elektrostantsii_GPES.html, свободный.

8. Производители оборудования электростанций по типам [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://manbw.ru/analytics/ind_manufactures-type.html, свободный.

9. Панченко В.А. Термодинамическое преобразование возобновляемой энергии посредством двигателя Стирлинга. Ч.1/ Панченко В.А./ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.akw-mag.ru/content/view/104/35/>, свободный.

10. Панченко В.А. Термодинамическое преобразование возобновляемой энергии посредством двигателя Стирлинга. Ч.2/ Панченко В.А./ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.akw-mag.ru/content/view/118/35/>, свободный.

11. Installation manual Whispergen MkVb [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.whispergen.com/content/library/WP503702900_UK_INSTALL.pdf, свободный.

12. Clucas D. M. Development of a hermetically sealed Stirling engine battery charger / Clucas D. M., Raine J. K. // Proc Instn Mech Engrs. – 1994. – Vol.208. – p. 357 - 366.

13. Редько И. Я Способ повышения эффективности первичного двигателя утилизационной стирлинг-электрической установки / Редько И. Я., Романов В. А., Кукис В. С., Малозёмов А. А. // Горный журнал. – 2010. - №4.

14. Шуховцев, В. В Повышение эффективности утилизационных стирлинг-электрических установок путем совершенствования системы подвода теплоты: дис... канд. техн. наук : 05.04.02/ Шуховцев Владимир Васильевич – Челябинск, 2006. - 169 с.

15. Рыбалко, А. И. Расчетно-экспериментальное исследование процессов в двигателе стирлинга, предназначенном для утилизации бросовой теплоты: дис... канд. техн. наук : 05.04.02 / Рыбалко Андрей Иванович - Новосибирск, 2011. - 192 с.

16. Охладитель гранул жалюзийный, 1 т/час - Спико [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.sp-co.ru/catalog/ohladitel_granul/35/, свободный.

17. Охладитель гранул ОКТ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.dozagran.com/ru/catalog/grancooler>, свободный.

18. Институт теплофизики СО РАН, ООО "Теплосибмаш" Абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.sbras.ru/ES/teplonasos.htm>, свободный.

19. Абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы ТЕПЛОСИБМАШ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.teplosibmash.ru/catalog/id/7/>, свободный.