

УДК 638.147.7

UDC 638.147.7

05.00.00 Технические науки

Technical science

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ  
ПАСЕК НА БАЗЕ ГИБРИДНОЙ  
ГЕЛИОУСТАНОВКИ****THEORETICAL RESEARCH OF AN ENERGY-  
SUPPLYING COMPLEX FOR APIARY BASED  
ON HYBRID SOLAR PLANT**

Онучин Евгений Михайлович  
к. т. н., доцент  
РИНЦ SPIN-код: 5242-8873

Onuchin Evgenii Mihailovich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor  
RSCI SPIN-code: 5242-8873

Осташенков Алексей Петрович  
к. т. н.  
РИНЦ SPIN-код: 6744-4446  
*Поволжский государственный технологический  
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Ostashenkov Aleksey Petrovich  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code: 6744-4446  
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,  
Russia*

Представлена математическая модель функционирования комплекса для энергоснабжения пасек на базе гибридной гелиоустановки, устанавливающая взаимосвязь между конструктивными и эксплуатационными параметрами комплекса при условии поддержания благоприятных условий для зимнего содержания пчел. Методика моделирования подразумевает выделение в математической модели нескольких уровней: уровень процессов, непосредственно связанных с изменением значений параметров микроклимата внутри ульев в зависимости от внешних факторов, уровень процессов функционирования отдельных компонентов в составе комплекса, которые напрямую не связаны с процессами изменения микроклимата внутри ульев, однако, являющиеся необходимыми для обеспечения благоприятных условий для зимовки пчелиных семей. Проведено моделирование функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки для условий расположения пасеки в Республике Марий Эл (зимовник на 250 пчелиных семей, количество фотоэлектрических модулей – 10, ометаемая площадь ветроэлектрической установки – 18 м<sup>2</sup>, емкость аккумуляторной батареи – 50 А·ч, объем бака теплового аккумулятора – 3 м<sup>3</sup>, временной интервал моделирования с 14 октября по 14 апреля). В результате моделирования получены графики изменения температуры теплоносителя теплового аккумулятора, напряжения на выводах аккумуляторной батареи, мощности ветроэлектрической установки и фотоэлектрических модулей, потребления электрической энергии

In the article, we present a simulation mathematical model of an energy-supplying complex of apiary based on hybrid solar plant that establishes the relationship between the design and the operating parameters of the complex with when having conducive winter maintenance of bees. Modeling methodology involves the selection into a mathematical model of multiple levels: level of processes, that directly related with changing of climate parameters inside the hive depending on external factors, level of processes of functioning of the individual components in the complex, which are not directly connected with the processes of changing of climate parameters inside the hive, however, are necessary to ensure favorable conditions for wintering of bees. We have conducted the simulation of the complex based on hybrid solar plant for conditions: the location of apiary in the Republic of Mari El (building for placement of bees for 250 bee colonies, the number of photovoltaic modules – 10, wind power plant area – 18 m<sup>2</sup>, the capacity of the battery – 50 A·h, the heat accumulator capacity – 3 m<sup>3</sup>, the time interval – from 14 October to 14 April). As a result of simulation obtained graphs of the changing the thermal battery coolant temperature, the voltage at the battery terminals, the power wind turbine and PV modules, the electrical energy consumption

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПАСЕКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Keywords: SIMULATION, APIARY, RENEWABLE ENERGY SOURCES

Доминирующее число пасечных хозяйств являются небольшими, с точки зрения энергоснабжения, объектами, что обусловлено особенностями преобладающих организационно-правовых форм хозяйствования, а также спецификой энергопотребления. Кроме того, особенностью пасек является удаленность от сетей централизованного энергоснабжения.

Структура энергопотребления пасечных хозяйств во многом зависит от сезона и является специфичной для определенного типа хозяйства. Разведение и содержание пчел подразумевает выполнение пчеловодами определенных работ в рамках отдельных сезонных периодов ухода за пчелами [1]. В этой связи возникают различные потребности в тепловой и электрической энергии для различных периодов годового цикла работы пасек. Основными потребителями пасеки в весенне-осенний период являются электроинструмент столярных мастерских, технические средства для откачки меда, виброножи, и т.д., которые составляют оборудование пчеловодческих мастерских [2]. В зимний период потребление энергии связано с необходимостью обеспечения условий для благополучной зимовки пчелиных семей [3, 4, 5]. Среди многообразия этих условий важная роль принадлежит микроклимату пчелиного улья, оптимизация которого позволяет полнее реализовать потенциал пчелиной семьи, обусловленный ее наследственными свойствами [6, 7]. При этом следует отметить, что широко практикуется зимовка пчелиных семей в зимовниках.

Для энергоснабжения пасечных хозяйств предлагается использование комплекса на базе гибридной гелиоустановки, в состав которого входят несколько типов преобразователей возобновляемой энергии, а также аккумуляторы тепловой и электрической энергии. Внешний вид комплекса представлен на рисунке 1.

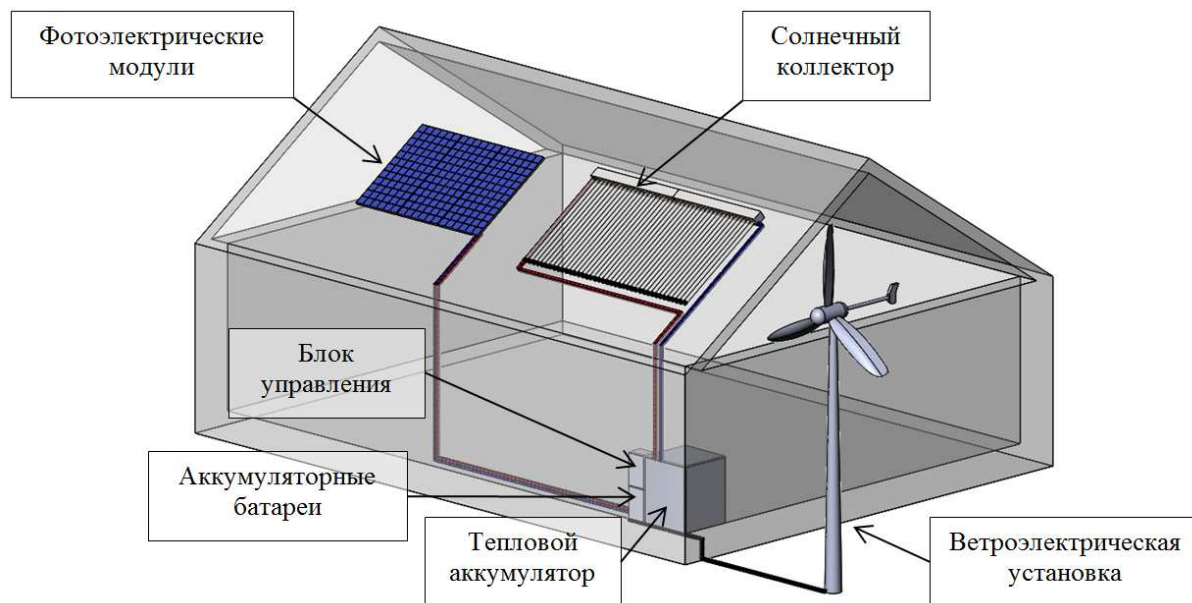


Рисунок 1 – Внешний вид комплекса на базе гибридной гелиоустановки

Функциональная электрическая схема комплекса представлена на рисунке 2.

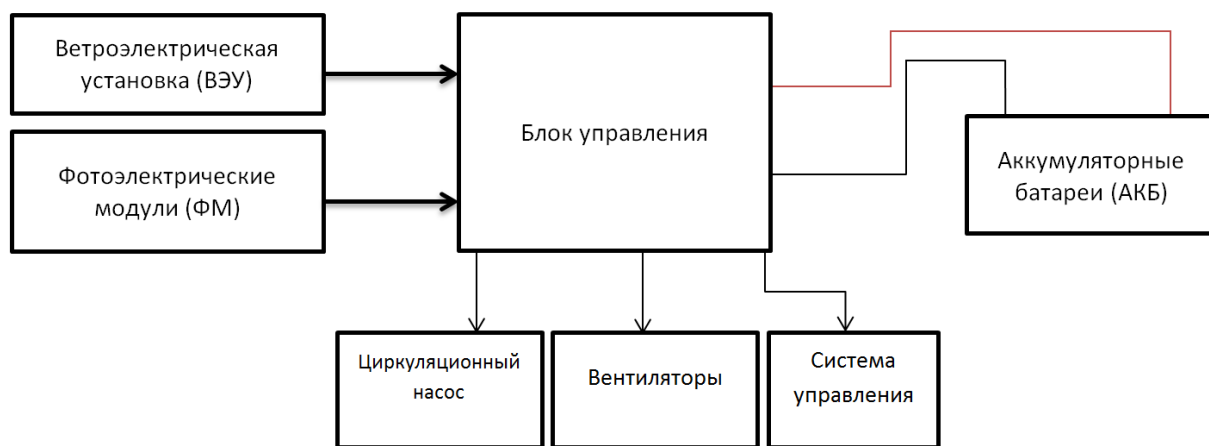


Рисунок 2 – Функциональная электрическая схема комплекса

Ветроэлектрическая установка и фотоэлектрические модули генерируют электрическую энергию и передают ее посредством проводов через блок управления аккумуляторным батареям. Солнечный коллектор собирает тепловую энергию Солнца и передает ее посредством трубопроводов через теплообменник теплому аккумулятору. Далее тепловая энергия передается потребителю. Контролируется данный

процесс с помощью системы управления подачей теплоносителя, функционирование которой обеспечивается за счет энергии, накопленной в аккумуляторных батареях.

В силу переменного характера изменения мощности потоков возобновляемой энергии для исследования процесса функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки необходимо разработать математическую модель, учитывающую особенности использования отдельных изделий в составе комплекса.

Объектом исследования является комплекс для энергоснабжения пасек на базе гибридной гелиоустановки.

Предметом исследования являются количественные зависимости, связывающие конструктивные и эксплуатационные параметры комплекса.

Цель: разработка математической модели функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки.

Задачи:

- концептуальная постановка задачи моделирования;
- математическая постановка задачи моделирования;
- разработка алгоритма и исследование модели.

В силу специфики функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки в зимний период, а также его сложной структуры, в рамках математической модели были выделены несколько уровней:

– уровень процессов, связанных с изменением значений параметров микроклимата внутри пчелиных ульев в зависимости от внешних факторов;

– уровень процессов функционирования отдельных компонентов комплекса (солнечного коллектора, ветроэлектрической установки, фотоэлектрических модулей, аккумуляторов тепловой и электрической энергии).

Ключевой моделью первого уровня является модель теплопотребления пчелиными ульями. Для определения тепловой мощности, необходимой для поддержания нормируемого температурного режима внутри зимовника пасечного хозяйства, использовалась расчетная формула:

$$P = N c_{B\rho} M ((T - T_0)(2(v + u) + \delta) + \gamma(w - w_0) - p_B), \quad (1)$$

где  $p_B = \frac{P_B}{c_{B\rho} M}$ ,  $\gamma = \frac{2,25}{c_{B\rho}}$ ,  $\delta = \frac{\varepsilon}{c_{B\rho}}$ ,  $v = \frac{V}{M}$ ,  $u = \frac{U}{M}$ ,  $P$  – мощность управляемого источника тепла, Вт;  $N$  – количество размещенных в зимовнике ульев;  $c_B$  – теплоемкость сухого воздуха, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность сухого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $M$  – объем улья, м<sup>3</sup>;  $T$  – температура внутри улья, К;  $T_0$  – температура наружного воздуха, К;  $U$  – воздухоподача вытяжных вентиляторов, м<sup>3</sup>/ч;  $V$  – воздухоподача приточных вентиляторов, м<sup>3</sup>/ч;  $\varepsilon$  – коэффициент тепловых потерь через ограждающие конструкции;  $w$  – влагосодержание внутри улья, г/м<sup>3</sup>;  $w_0$  – влагосодержание наружного воздуха, г/м<sup>3</sup>;  $P_B$  – мощность неуправляемого источника тепла, Вт.

Ключевой моделью второго уровня является модель состояния теплового аккумулятора, описываемая выражением **Ошибка! Источник ссылки не найден.**:

$$T_6 = (1 - e^{-\xi t}) \left( \frac{F_R A_B \varepsilon (\alpha \tau)}{F_R' UA + U_6 A_6} + \frac{T_0 \frac{1 + U_6 A_6 T_E}{F_R' UA T_0}}{1 + \frac{U_6 A_6}{F_R' UA}} - \frac{Q_T}{F_R' UA + U_6 A_6} \right) + T_{60} e^{-\xi t}, \quad (2)$$

где  $U$  – полный коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $A$  – площадь апертуры солнечного коллектора, м<sup>2</sup>;

$\xi = \frac{F_R' UA + U_6 A_6}{c_p \rho V_6}$ ;  $c_6$  – удельная теплоемкость теплоносителя в

аккумуляторе, кДж/(кг·К);  $\rho_{\text{б}}$  – плотность теплоносителя в аккумуляторе, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{б}}$  – объем бака, м<sup>3</sup>;  $U_{\text{б}}$  – полный коэффициент тепловых потерь теплового аккумулятора, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $A_{\text{б}}$  – площадь теплового аккумулятора, м<sup>2</sup>;  $F'_{\text{R}}$  – коэффициент, учитывающий влияние теплообменника;  $F_{\text{R}}$  – коэффициент отвода теплоты от солнечного коллектора;  $E_{\text{S}}$  – плотность потока солнечной радиации, ГДж/м<sup>2</sup>;  $\alpha_{\text{T}}$  – поглощательная способность солнечного коллектора;  $Q_{\text{T}}$  – количество теплоты, поступающей к потребителю из аккумулятора, ГДж/ч;  $T_{\text{б}}$  – температура теплоносителя в аккумуляторе в начале шага моделирования, К;  $T_{\text{в}}$  – температура наружного воздуха, К.

Моделирование процесса функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки проводилось следующим образом. На первом этапе задавались значения входных факторов модели, значения которых с учетом принятых допущений оставались постоянными. К факторам данной группы относились количество ульев, размещенных в зимовнике, конструктивные параметры ульев, зимовника, а также отдельных элементов комплекса (фотоэлектрических модулей, ветроэлектрической установки, солнечного коллектора) и другие параметры. Внешний вид окна ввода постоянных параметров показан на рисунке 3.

	A	B	C	D
1	Пуск	количество шагов моделирования	184	
2		текущий шаг	0,00	
3	Временной интервал шага моделирования, с		3600	
4	Входные параметры			
5	количество ульев, шт.	250	Конструктивные параметры единичного улья	
6	Солнечный коллектор		высота, м	0,3
7	$F_g$ - коэффициент отвода теплоты от солнечного коллектора	0,95	длина, м	0,5
8	$\tau_a$ - приведенная поглощающая способность солнечного коллектора	0,80	ширина, м	0,4
9	$U$ - полный коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора, Вт/(м <sup>2</sup> )	0,30	коэффициент теплопотерь через стены, пол, потолок	
10	$F_r$ - коэффициент, учитывающий влияние теплообменника	0,90	Тепловой аккумулятор	
11	угол наклона солнечного коллектора к горизонту, град	88,00	$U_b$ - полный коэффициент тепловых потерь теплового аккумулятора, Вт/(м <sup>2</sup> )	0,20
12	Ветроэлектрическая установка (ВЭУ)		$T_{bo}$ - температура теплоносителя в аккумуляторе в начальный период, К	295,00
13	Высота установки ветроколеса, м	10	$S_b$ - удельная теплоемкость теплоносителя в аккумуляторе, (Дж/(кг К))	4200,00
14	Коэффициент мощности ветроколеса	0,35	$\rho_b$ - плотность теплоносителя в аккумуляторе, кг/м <sup>3</sup>	1000,00
15	Ометаемая ветроколесом площадь, м <sup>2</sup>	18,09557	$V_b$ - объем бака аккумулятора, м <sup>3</sup>	3,00
16	Фотозлектрические модули (ФМ)		Электролитический аккумулятор (АКБ) - потребители	
17	Средний КПД ФМ	0,16	Емкость АКБ, А*ч	50
18	Площадь ФМ, м <sup>2</sup>	1,3	Номинальное напряжение АКБ, В	12,00
19	Количество модулей	10	Удельное сопротивление соединительных проводов, Ом/м	0,007
20	Эл. энергетические параметры		Длина соединительных проводов, м	20
21	номинальный ток циркуляционного насоса солн. кол-ра, А	4	Величина глубокого разряда АКБ, %	60
22	номинальный ток приточного вентилятора, А	0,3	коэффициент, учитывающий влияние контроллеров ФМ и ВЭУ	
23	номинальный ток системы управления, А	0,5		
24	Прочие константы			
25	широта местности, град	56,38	Абсолютная влажность внутри ульев, г/м <sup>3</sup>	5,4
26	коэффициент отражения		Содержание углекислого газа, л/м <sup>3</sup>	40,0
27	зимой (при наличии снежного покрова)		количество влаги выделяемое единичным неуправляемы источником, г/ч	1,667
28	летом		количество СО2 выделяемое единичным неуправляемы источником, л/ч	1,667
29	количество пчелиных семей размещенных в улье, шт	1,0	единичная тепловая мощность неуправляемого источника, Вт	5,200
30	Объем единичного улья, м <sup>3</sup>	0,065	теплоемкость сухого воздуха, Дж/(кг*К)	1005
31	Суммарная выделяемая влага, г/ч	1,667	плотность сухого воздуха при +4 °С, кг/м <sup>3</sup>	1,269

Рисунок 3 – Внешний вид окна ввода значений входных параметров

На следующем этапе задавались входные параметры, значения которых варьировались для каждого шага моделирования. К факторам данной группы относились средняя температура, скорость ветра, абсолютная влажность воздуха, плотность воздуха, количество диффузной (рассеянной) солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, и другие параметры. Затем следовала подстановка значений входных факторов в расчетную часть. При этом было принято допущение, что в рамках шага моделирования значения входных параметров оставались постоянными. Данное допущение было обусловлено наличием постоянного входного фактора – временного интервала шага моделирования. Это позволяло подобрать значение шага моделирования таким образом, что изменения других входных факторов за выбранный временной интервал оказывалось бы несущественным. Далее осуществлялась запись значений расчетных параметров для шага моделирования в таблицу. На следующем этапе проводилась подстановка значений входных факторов, соответствующих следующему шагу

моделирования, и значений расчётных параметров в расчетную часть. Данный процесс повторялся вплоть до последнего шага моделирования. В результате была получена таблица значений расчетных параметров для каждого шага моделирования, позволяющая описать динамику изменения эксплуатационных параметров комплекса в зависимости от входных параметров.

На рисунке 4 представлены результаты моделирования функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки для следующих условий:

- расположение пасеки в Республике Марий Эл;
- зимовник на 250 пчелиных семей (типовой проект № 808-5-4);
- площадь фотоэлектрического модуля  $1,3 \text{ м}^2$ , количество модулей 10;
- ометаемая площадь ветроэлектрической установки  $18 \text{ м}^2$ ;
- емкость аккумуляторной батареи 50 А·ч;
- объем бака теплового аккумулятора  $3 \text{ м}^3$ ;
- временной интервал моделирования с 14 октября по 14 апреля.



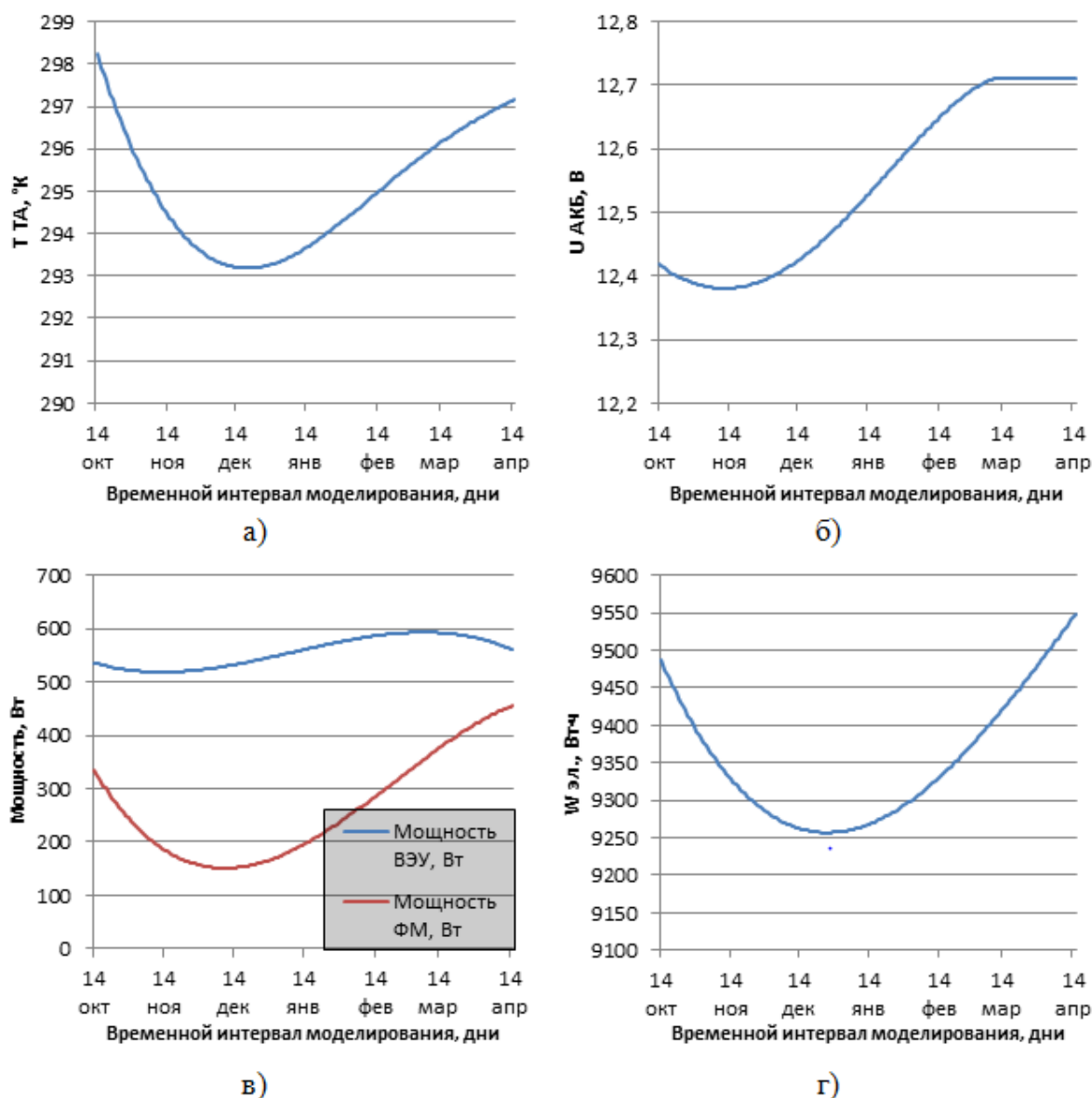


Рисунок 4 – Результаты моделирования функционирования комплекса

На рисунке 3 представлены: а) график изменения температуры теплоносителя теплового аккумулятора; б) график изменения напряжения на выводах аккумуляторной батареи; в) графики изменения мощности ветроэлектрической установки и фотоэлектрических модулей; г) график изменения потребления электрической энергии.

Анализируя вышеприведенные графики изменения значений параметров комплекса на базе гибридной гелиоустановки можно сделать следующие выводы:

1. Наименьшие значения температуры теплоносителя теплового аккумулятора приходятся на период с ноября по январь. Это обусловлено минимальными значениями длительности светового дня в данные месяцы, а также относительно низкими, по сравнению с другими месяцами, значениями инсоляции. Минимальное значение температуры теплоносителя отмечается в декабре, что обусловлено минимальным значением инсоляции.

2. Напряжение на выводах аккумуляторной батареи в течение временного интервала моделирования не снижается ниже 12,38 В, что соответствует 30% степени разряженности аккумуляторной батареи.

3. Минимальное значение суммарной мощности фотоэлектрических модулей (151 Вт) приходится на декабрь, что обусловлено минимальным значением инсоляции. Плавное возрастание мощности в период с декабря по апрель обусловлено увеличением инсоляции.

4. Мощность ветроэлектрической установки на протяжении периода моделирования колебалась в диапазоне от 518 до 593 Вт. Максимум мощности приходится на вторую половину февраля и первую половину марта, что обусловлено максимальными, по сравнению с другими месяцами, значениями скорости ветра в данный период.

5. Минимальное значение потребления электрической энергии (9250 Вт·ч в сутки) приходится на декабрь. Это обусловлено минимальным значением длительности светового дня, а значит, минимальным временем работы наиболее мощного электроприемника в составе комплекса – циркуляционного насоса, установленного в контуре «солнечный коллектор – тепловой аккумулятор».

#### Вывод

Разработанная математическая модель функционирования комплекса на базе гибридной гелиоустановки позволяет определить количественные закономерности и зависимости, связывающие конструктивные и

эксплуатационные параметры комплекса при условии поддержания благоприятных условий для зимнего содержания пчел.

### Список литературы

1. Остащенко, А.П. Теплоснабжение зимовников пасечных хозяйств на базе каталитических устройств сжигания биогенных топлив / А.П. Остащенко, Е.М. Онучин // – Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(089). – С. 1233–1249.
2. Харченко, Н.А. Пчеловодство: Учеб. для студ. вузов / Н.А. Харченко, В.Е. Рындин. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – С. 79.
3. Еськов, Е.К. Микроклимат пчелиного жилища. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 184 с.
4. Еськов, Е.К. Микроклимат пчелиного улья и его регулирование. – М.: Россельхозиздат, 1978. – С. 72.
5. Лаврехин, Ф.А. Биология медоносной пчелы / Ф.А. Лаврехин, С.В. Панкова. – М.: Колос, 1983. – С. 270.
6. Радченко, В.Г. Биология пчел (HYMENOPTERA, APOIDEA) / В.Г. Радченко, Ю.А. Песенко. – Спб., 2004. – С. 201.
7. Фриш, К. Из жизни пчел. – М.: Мир, 1980. – 108 с.
8. Мегедь, А.Г. Пчеловодство: учебник / А.Г. Мегедь, В.П. Полищук. – Киев, 1990. – С. 45.

### References

1. Ostashenkov, A.P. Teplosnabzhenie zimovnikov pasechnyh hozjajstv na baze kataliticheskikh ustrojstv szhiganiya biogennyh topliv / A.P. Ostashenkov, E.M. Onuchin // – Nauchnyj zhurnal KubGAU. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №05(089). – S. 1233–1249.
2. Harchenko, N.A. Pchelovodstvo: Ucheb. dlja stud. vuzov / N.A. Harchenko, V.E. Ryndin. – M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2003. – S. 79.
3. Es'kov, E.K. Mikroklimat pchelinogo zhilishha. – M.: Rossel'hozizdat, 1983. – 184 s.
4. Es'kov, E.K. Mikroklimat pchelinogo ul'ja i ego regulirovanie. – M.: Rossel'hohizdat, 1978. – S. 72.
5. Lavrehin, F.A. Biologija medonosnoj pchely / F.A. Lavrehin, S.V. Pankova. – M.: Kolos, 1983. – S. 270.
6. Radchenko, V.G. Biologija pchel (HYMENOPTERA, APOIDEA) / V.G. Radchenko, Ju.A. Pesenko. – Spb., 2004. – S. 201.
7. Frish, K. Iz zhizni pchel. – M.: Mir, 1980. – 108 s.
8. Meged', A.G. Pchelovodstvo: uchebnyk / A.G. Meged', V.P. Polishhuk. – Kiev, 1990. – S. 45.