

## Моделирование работы системы энергоснабжения тепличного комплекса

*В.Н. Свечников<sup>1</sup>, А.А. Медяков<sup>1</sup>, Т.А. Кудинова<sup>1</sup>, А.П. Остащенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола*

<sup>2</sup>*Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола*

**Аннотация:** представлены результаты вычислительного эксперимента, полученные с использованием разработанной математической модели функционирования системы энергоснабжения тепличного комплекса. В перечень входных факторов модели входили внешние факторы: температура окружающего, продолжительность светового дня, скорость ветра, интенсивность солнечного излучения, а также факторы, характеризующие внутренние условия работы тепличного комплекса. Значения внешних факторов варьировались в пределах среднесуточных величин для местности расположения тепличного комплекса, параметры технологического процесса определялись с учетом возможных режимов работы тепличного комплекса. Показаны зависимости изменения количества тепловой энергии, потребляемой тепличным комплексом, энергопотребления системы энергоснабжения, валового энергопотребления системы энергоснабжения, коэффициента использования валовой энергии от уровней воздействующих факторов. Представлены результаты анализа полученных зависимостей.

**Ключевые слова:** моделирование, система энергоснабжения, тепличный комплекс.

Тепличное растениеводство является энергоемкой отраслью сельского хозяйства, что обусловлено необходимостью применения технических средств для обеспечения оптимальных условий для развития растений [1]. Современные теплицы являются высокотехнологичными комплексами, имеющими системы управления микроклиматом, искусственным освещением и поливом и требующими больших затрат энергии [2]. При этом затраты на энергоснабжение влияют на себестоимость производимой продукции и зависят от климатических условий размещения теплиц, специфики технологического процесса выращивания растений.

Для энергоснабжения тепличного комплекса предлагается использование системы энергоснабжения, включающей газовый котел, электрический котел, тепловой насос, солнечный коллектор, фотоэлектрические модули, ветроэлектрогенератор, накопители тепловой и электрической энергии. Теплоснабжение тепличного комплекса обеспечивается за счет использования следующих технических средств:

---

газовый котел, электрический котел, тепловой насос, солнечный коллектор. Газовый и электрический котлы для подогрева теплоносителя используют соответственно природный газ и электроэнергию. Последняя может вырабатываться фотоэлектрическими модулями, ветроэлектростанцией. Тепловой насос, затрачивая электрическую энергию, утилизирует низкопотенциальную теплоту окружающей среды, и может быть использован для нагрева теплоносителя, а также для охлаждения тепличного комплекса при его естественном перегревании. Следует отметить, что с учетом использования преобразователей возобновляемой энергии, а также периодических изменений внешних факторов, например, снижения температуры окружающей среды, приводящего к увеличению потребностей тепличного комплекса в тепле и потерь, связанных с транспортировкой теплоносителя, а также изменений в течение суток инсоляции, влияющей на мощность солнечного коллектора и фотоэлектрических модулей, возникает необходимость в применении тепловых и электрических аккумуляторов.

Для обеспечения благоприятных условий для развития растений система энергоснабжения тепличного комплекса должна обеспечивать надежное функционирование технических средств для контроля микроклимата, освещения и полива растений [3-6]. При этом в процессе функционирования тепличного комплекса на него оказывают влияние факторы окружающей среды (скорость ветра, температура окружающей среды, интенсивность солнечного излучения, продолжительность светового дня), а также внутренние факторы (кратность воздухообмена и т.д.), в зависимости от которых изменяются потребности системы в тепловой и электрической энергии. Это в свою очередь влияет на значения показателей эффективности системы энергоснабжения. В этой связи целью работы являлась оценка влияния внешних факторов на эффективность работы системы энергоснабжения тепличного комплекса.

---

Для исследования зависимостей между параметрами окружающей среды, техническими параметрами отдельных элементов системы энергоснабжения (газового котла, электрического котла, теплового насоса, солнечного коллектора, фотоэлектрических модулей, ветроэлектростанции, накопителей тепловой и электрической энергии), конструктивными параметрами тепличного комплекса, параметрами технологического процесса и показателями эффективности системы энергоснабжения использовалась математическая модель. При этом ввиду переменного характера изменения интенсивности потоков возобновляемой энергии, изменчивости значений параметров окружающей среды в рамках моделирования были приняты среднесуточные (средние за день, за ночь) значения параметров [7-10].

Оценка влияния внешних факторов на показатели эффективности системы энергоснабжения подразумевала моделирование функционирования тепличного комплекса в различных режимах с учетом следующих групп параметров:

- 1) параметров, характеризующих внешние условия: температура наружного воздуха днем (варьировалась в диапазоне  $-1 \dots +25$  °C), скорость ветра  $0 \dots 10$  м/с, продолжительность светового дня  $9 \dots 18$  ч;
- 2) параметров технологического процесса тепличного комплекса (кратность воздухообмена  $1 \dots 8$  1/ч).

В качестве выходных факторов математической модели, характеризующих эффективность системы энергоснабжения тепличного комплекса, использовались следующие параметры:

- «полезная» тепловая энергия, потребляемая тепличным комплексом;
  - энергопотребление системы энергоснабжения;
  - валовое энергопотребление системы энергоснабжения;
  - коэффициент использования валовой энергии.
-

Таким образом, целью математического моделирования суточного цикла работы системы энергоснабжения тепличного комплекса являлось установление зависимостей между конструктивными параметрами элементов системы энергоснабжения, параметрами технологического процесса тепличного комплекса и показателями эффективности системы энергоснабжения.

Исследование влияния факторов внешней среды на эффективность системы энергоснабжения тепличного комплекса проводилось путем нахождения зависимостей выходных параметров от каждого из входных параметров модели при средних в диапазоне значениях оставшихся входных параметров и качественного анализа полученных результатов вычислительного эксперимента. Графики показаны на рисунках 1-3: 1 – «полезная» тепловая энергии; 2 – энергопотребление системы теплоснабжения; 3 – валовое энергопотребление системы теплоснабжения; 4 – коэффициент использования валовой энергии.

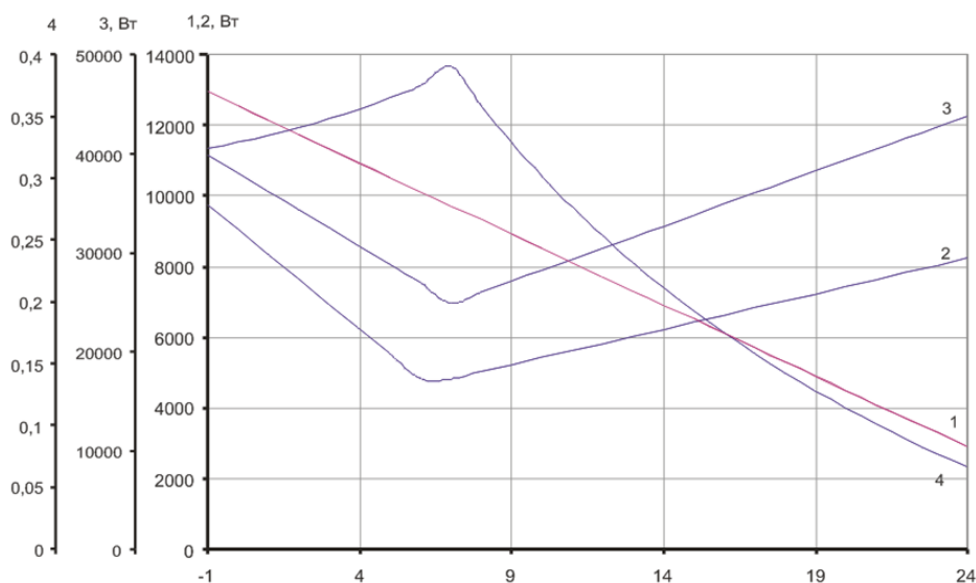


Рис. 1. – График зависимости параметров эффективности системы энергоснабжения от дневной температуры окружающего воздуха

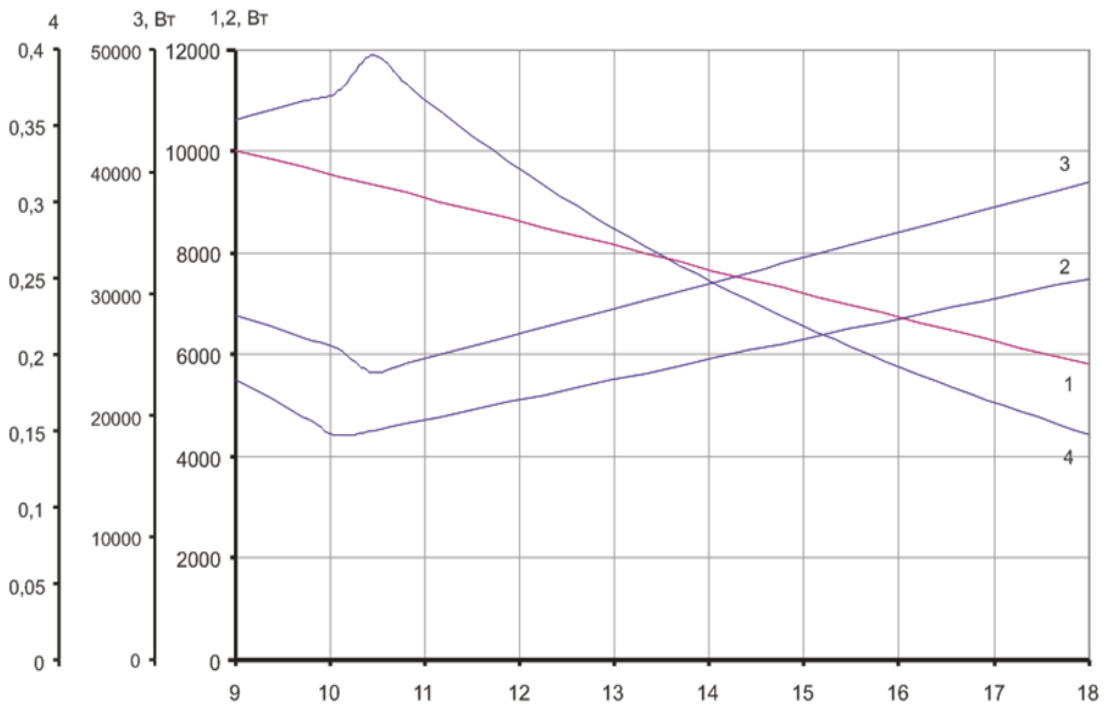


Рис. 2. – График зависимости параметров эффективности системы энергоснабжения от продолжительности светового дня

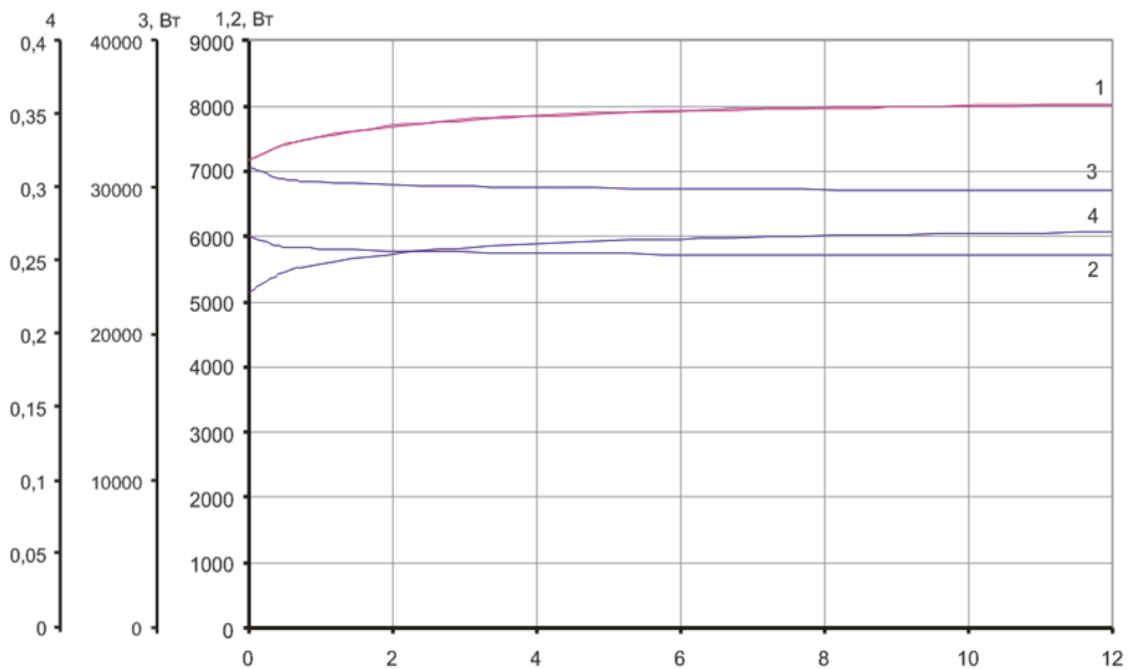


Рис. 3. – График зависимости параметров эффективности системы энергоснабжения от скорости ветра

В результате анализа вышеприведенных графиков были сделаны следующие выводы:

– увеличение температуры окружающего воздуха и продолжительности светового дня обуславливает снижение теплопотребления тепличного комплекса, при этом возрастают затраты энергии на охлаждение тепличного комплекса;

– увеличение скорости ветра обуславливает повышение теплопотребления тепличного комплекса, при этом снижаются затраты энергии на охлаждение тепличного комплекса;

Таким образом с использованием разработанной математической модели было проведено исследование влияния факторов внешней среды на эффективность системы энергоснабжения тепличного комплекса.

### Литература

1. Владыкин И.Р., Кондратьев Р.Г., Логинов В.В., Евтишин В.А., Елесин И.С. Взаимосвязанная система управления отопительно-вентиляционными установками в защищенном грунте // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1506](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1506).

2. Кондратьева Н.П., Юран С.И., Владыкин И.Р., Козырева Е.А., Решетникова И.В., Баженов В.А., Литвинова В.М. Инновационные энергосберегающие электроустановки для предприятий АПК Удмуртской Республики // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1632>.

3. Дворный В.В., Костенко В.С., Квартников В.А. Использование солнечных гибридных установок для энергоснабжения "умной" теплицы на сельскохозяйственных предприятиях Краснодарского края // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 5(20). С. 115-117.



4. Рахимжанова И.А., Фомин М.Б., Дубовсков Е.А., Нигматов Э.А., Кононец В.В. Функционирование теплиц в условиях Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. №1. (57). С. 49-50.

5. Возмилов А.Г., Малюгин С.А., Малюгина А.А. Повышение эффективности использования солнечной энергии в автономных системах энергоснабжения сельского хозяйства // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. С. 10-13.

6. Амерханов Р.А., Кириченко А.С., Донсков А.П., Муртазаева Ю.Л. Перспективы использования фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии для освещения теплиц в ночное время суток в климатических условиях Краснодарского края // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. №4. (14). С. 194-197.

7. Kreith F., Kreider J.F. Principles of Solar Engineering. Washington, London, 1978, 778 p.

8. John A. Duffie, William A. Beckman Solar engineering of thermal processes. Wiley. 2013. pp. 40-44.

9. Vaughn Nelson Wind Energy: Renewable Energy and the Environment 2009. pp. 120-122.

10. Soteris A. Kalogirou Solar Energy Engineering - Processes and Systems. 2009. pp. 88-92.

### References

1. Vladykin I.R., Kondrat'ev R.G., Loginov V.V., Evtishin V.A., Elesin I.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1506.

2. Kondrat'eva N.P., YUran S.I., Vladykin I.R., Kozyreva E.A., Reshetnikova I.V., Bazhenov V.A., Litvinova V.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1632.



3. Dvornyj V.V., Kostenko V.S., Kvartnikov V.A. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2016. № 5(20). pp. 115-117.
4. Rahimzhanova I.A., Fomin M.B., Dubovskov E.A., Nigmatov E.H.A., Kononec V.V. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. №1 (57). pp. 49-50.
5. Vozmilov A.G., Malyugin S.A., Malyugina A.A. Vestnik CHelyabinskoy gosudarstvennoj agroinzhenernoj akademii. 2014. pp. 10-13.
6. Amerhanov R.A., Kirichenko A.S., Donskov A.P., Murtazaeva YU.L. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2015. №4 (14). pp. 194-197.
7. Kreith F., Kreider J.F. Principles of Solar Engineering. Washington, London, 1978, 778 p.
8. John A. Duffie, William A. Beckman Solar engineering of thermal processes. Wiley. 2013. pp. 40-44.
9. Vaughn Nelson Wind Energy: Renewable Energy and the Environment 2009. pp. 120-122.
10. Soteris A. Kalogirou Solar Energy Engineering - Processes and Systems. 2009. pp. 88-92.