

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОЙ СТОЛОВОЙ

**Д-р техн. наук А.А. Смердов, асп. А.Н. Брикун
(Полтавская государственная аграрная академия),
канд. техн. наук В.С. Бондаренко, М.Ю. Поляков
(НПО “Промэлектроника”, г. Полтава)**

При надвигающемся энергетическом и экономическом кризисе в Украине автономные солнечные водонагреватели уже в ближайшем будущем займут важное место в покрытии низкопотенциальной тепловой нагрузки. Проведенные исследования показывают, что применение горячего солнечного водоснабжения в животноводстве, растениеводстве, переработке сельскохозяйственной продукции Украины позволит сэкономить 0,72 ГДж традиционных видов энергии [1]. Совмещенное использование традиционных и возобновляемых источников солнечной энергии является актуальной задачей не только для сельскохозяйственного производства. В Полтавской государственной аграрной академии (ПГАА) проводятся исследования по сопряжению солнечных энергоустановок с традиционными существующими теплоцентралями для обеспечения горячим водоснабжением студенческой столовой и хозяйственных служб академии. Решение этой задачи, наряду с ее энергоэкономическим значением, имеет важное учебно-методическое значение, т. к. позволит в процессе подготовки студентов наглядно представить им значимость проблемы использования ВИЭ для нужд сельскохозяйственного производства.

Внедрение солнечных энергоустановок в различные отрасли хозяйства требует решения одной из ключевых проблем, а именно, - проблемы согласования энергопотоков поступления солнечной радиации с энергопотоками потребления этой энергии ее пользователями [1, 2]. Это требует учета технологических особенностей потребления энергии пользователями. Решение этого вопроса усложняется тем, что, как правило, технологический процесс потребления энергии является случайным процессом. В докладе представлена статистическая модель процесса горячего водопотребления, разработанная с целью анализа и согласования энергопотока получения солнечной радиации с энергопотоком технологического потребления горячей воды студенческой столовой ПГАА.



Рис. 1. Оборудование для водоподогрева и учета потребления воды: 1 – термопреобразователь сопротивления; 2 – электронагреватель воды; 3 – тепловычислитель СПТ 941; 4 – водосчетчик

Таблица 1. Форма представления часовых архивных данных

Время	t1(°C)	V1(м ³)	M1(т)	Q(Гкал)
21.12.2005 08:00	20,50	0,010	0,010	0,00
21.12.2005 09:00	19,02	0,010	0,010	0,00
21.12.2005 10:00	0,00	0,000	0,000	0,00
21.12.2005 11:00	36,60	0,270	0,268	0,01
21.12.2005 12:00	41,51	0,330	0,327	0,01
21.12.2005 13:00	40,95	0,460	0,456	0,02
21.12.2005 14:00	40,41	0,370	0,367	0,01
21.12.2005 15:00	42,36	0,260	0,258	0,01
21.12.2005 16:00	40,68	0,110	0,109	0,00

В студенческой столовой в течение ноября-декабря 2005 года был проведен почасовой учет горячего водопотребления для мытья посуды. Столовая рассчитана на 70 посадочных мест и работает с 7³⁰ до 14³⁰ часов. На рис. 1 показано оборудование для водоподогрева и учета потребления горячей воды. Подогретая в электронагревателе 2 вода через водосчетчик 4 подается для мытья посуды. Температура воды в электронагревателе 2 измеряется с помощью термопреобразователя сопротивления 1. Учет горячего водопотребления осуществлялся тепловычислителем СПТ 941, выпускаемым ЗАО “Научно-производственная фирма “Логика”[3].

Тепловычислитель СПТ 941 предназначен для учета тепловой энергии в двухтрубной закрытой и открытой системе водяного теплоснабжения, а также однотрубного горячего и холодного водоснабжения. Температура воды от 0 до 175°C, давление – до 1,6 МПа. Разность температур в падающем и обратном трубопроводе от 2 до 175 °С. К тепловычислителю СПТ 941 подключаются два однотипных термопреобразователя сопротивления и один или два водосчетчика. Тепловычислитель питается от встроенной батареи и не требует

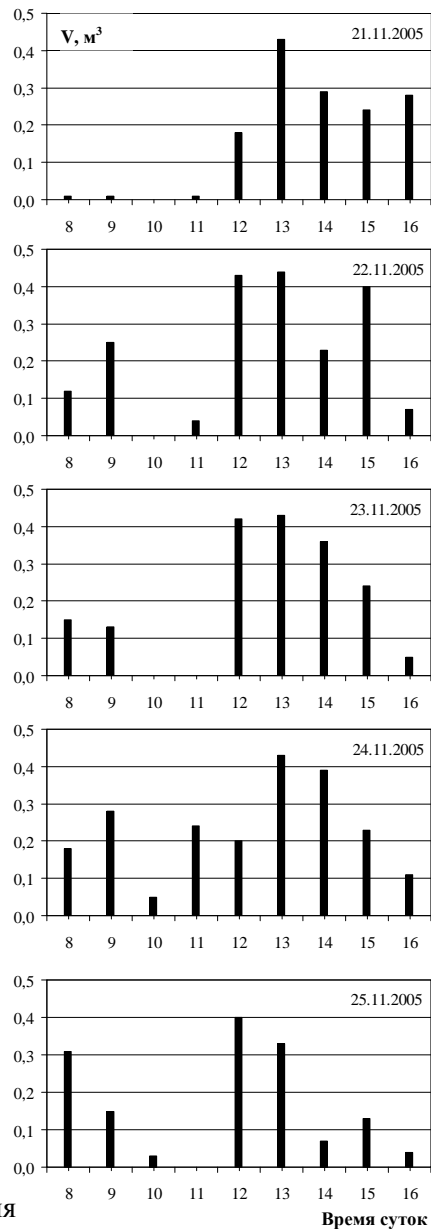


Рис. 2. Часовые значения потребляемого объема горячей воды V

наличия электросети. Показания параметров (текущие и архивные) высвечиваются на табло лицевой панели. Настраиваемые параметры вводятся с лицевой панели или внешнего компьютера. К тепловычислителю СПТ 941 по физическим линиям связи могут подключаться: компьютер или модем, имеющие интерфейс RS232C, удаленные до нескольких километров.

Тепловычислитель СПТ 941 обеспечивает регистрацию показаний параметров в электронном архиве. Архивные показания формируются за календарные часы, сутки и месяцы с учетом зимнего и летнего времени. Архив рассчитан на ретроспективу: 1080 последних часовых значений (45 суток), 185 последних суточных значений (6 месяцев), 48 последних месячных значений (4 года).

В табл. 1 представлены часовые архивные данные, хранящиеся в электронном архиве тепловычислителя СПТ 941, горячего водопотребления в течение одного рабочего дня: t_1 – среднечасовое значение температуры, являющееся средневзвешенной по протекшему объему воды; V_1 – протекший объем воды; M_1 – масса протекшей воды; Q – значение тепловой энергии.

На рис. 2 представлен пример суточных почасовых данных горячего водопотребления в течение одной недели.

Анализ данных, полученных на основе использования тепловычислителя СПТ 941, показывает, что часовой объем горячего водопотребления студенческой столовой является импульсным случайным процессом $\xi(t)$, который можно представить в виде произведения двух временных функций

$$\xi(t) = \mu(t) y(t). \quad (1)$$

Функция $\mu(t)$ является периодической последовательностью δ -импульсных отсчетов, расположенных на временной оси с часовым периодом τ_0 , и амплитудой отсчетов V_k , характеризующей часовой объем горячего водопотребления и являющейся случайной величиной,

$$\mu(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} V_k \delta(t - k\tau_0), \quad (2)$$

где $\delta(t)$ – дельта функция.

Функция $y(t)$ в общем случае может быть представлена импульсным случайным процессом с детерминированными тактовыми интервалами (процессом без накопления) [4]. В нашем случае полученные экспериментальные данные могут быть описаны простой функцией $y(t)$, а именно, последовательностью непрерывных равно-

отстоящих прямоугольных импульсов постоянной амплитуды A и длительности τ , равной времени потребления горячей воды (с 8 до 16 часов). Период повторения импульсов T определяется суточным временным интервалом $T=24$ часа.

Отметим, что при описании импульсных случайных процессов основной характеристикой является их энергетический спектр, зная который можно найти мощность процесса. Энергетический спектр импульсного случайного процесса с детерминированными тактовыми интервалами складывается из непрерывной части [4]

$$F_H(\omega) = \frac{2}{T} \left\{ (A^2 + \sigma^2) K_0(\omega) - A^2 |\theta_{1\nu}(\omega)|^2 K_\infty(\omega) \right\} \quad (3)$$

и дискретной части, состоящей из дискретных линий на частотах кратных частоте $2\pi/T$ повторения импульсов,

$$F_D(\omega) = \frac{4\pi A^2}{T^2} |\theta_{1\nu}(\omega)|^2 K_\infty(\omega) \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{T}\right) \quad (4)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$K_0(\omega) = \int_0^{\infty} x^2 |g(\omega x)|^2 w_{1\tau}(x) dx, \quad (5)$$

$$K_\infty(\omega) = \left| \int_0^{\infty} x g(\omega x) w_{1\tau}(x) dx \right|^2, \quad (6)$$

$$g(\omega\tau) = \int_0^{\tau} u(t) e^{-i\omega t} dt, \quad (7)$$

где $g(\omega)$ – спектральная плотность (преобразование Фурье) формы импульса $u(t)$ импульсного случайного процесса $y(t)$; $w_{1\tau}(\tau)$ – одномерная функция распределения длительностей импульсов; $\theta_{1\nu}(\omega)$ – характеристическая функция случайной величины v_n ; A, σ^2 – среднее значение и дисперсия случайных амплитуд импульсов; $\delta(\omega)$ – дельта функция.

Для рассматриваемого нами импульсного случайного процесса $y(t)$ энергетический спектр будет иметь только дискретную составляющую

$$F_D(\omega) = \frac{4\pi A^2 \tau^2}{T^2} \left(\frac{\omega\tau}{2} \right)^{-2} \sin^2 \frac{\omega\tau}{2} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{T}\right). \quad (8)$$

Спектр δ -импульсной последовательности (2) будет равен [4]

$$F_\mu(\omega) = 2V_k \sum_{k=0}^{\infty} \cos k\omega\tau_0. \quad (9)$$

Энергетический спектр процесса $\zeta(t)$ будет определяться интегралом свертки

$$F_{\zeta}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F_{\mu}(\omega) F_y(\omega - z) dz, \quad (8)$$

где $F_y(\omega)$ и $F_{\mu}(\omega)$ – спектры процессов, определяемые соответственно выражениями (8) и (9).

В заключение отметим, что импульсный случайный поток $\zeta(t)$, описываемый выражением (1), назван нами квазисмешанным, в отличие от известных импульсных случайных потоков смешанного типа, для которых как параметры, так и число импульсов на заданных тактовых интервалах является случайными [4].

Выводы

Статистическая модель процесса горячего водопотребления студенческой столовой описывается импульсным случайным потоком квазисмешанного типа, который является произведением двух импульсных случайных процессов без накопления.

Статистические параметры случайных технологических потоков горячего водопотребления могут быть экспериментально определены тепловычислителями типа СПТ 941, обеспечивающими возможность регистрации и электронного архивирования 1080 ретроспективных часовых значений этих процессов, что соответствует наблюдению в течение 45 суток.

Литература

1. Мартиненко І.І., Головка В.М. Рациональне використання енергії сонячної радіації та вітру в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва // Доповіді НАН України. – 2003.– №4. – с. 83–87.
2. Smerdov A., Bondarenko B., Polyakov M., Brykin A. Stochastic models in solar energy // THE 4th RESEARCH AND DEVELOPMENT CONFERENCE OF CENTRAL AND EASTERN EUROPEAN INSTITUTES OF AGRICULTURAL ENGINEERING (CEE Ag Eng). PROCEEDINGS – Moscow: VIESH, 2005. – p. 134 – 139.
3. Тепловычислитель СПТ 941. Руководство по эксплуатации. – С.-Петербург, 2004.– 40 с.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Советское радио, 1966. – 728 с.