

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 632.9:631.58

*И.В. Савчук, Д.О. Суринский,
И.А. Русаков*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИДЕОСВЕТОЛОВУШКИ

*I.V. Savchuk, D.O. Surinsky,
I.A. Rusakov*

MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION OF VIDEO LIGHT TRAPS DESIGN

Савчук И.В. – преп. каф. энергообеспечения сельского хозяйства Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: ivan-savchuk@list.ru

Суринский Д.О. – канд. техн. наук, доц. каф. энергообеспечения сельского хозяйства Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: surd1985@mail.ru

Русаков И.А. – магистрант каф. энергообеспечения сельского хозяйства Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: surd1985@mail.ru

Savchuk I.V. – Asst, Chair of Power Supply of Agriculture, Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen. Email: ivan-savchuk@list.ru

Surinsky D.O. – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply of Agriculture, Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen. E-mail: surd1985@mail.ru

Rusakov I.A. – Magistrate Student, Chair of Power Supply of Agriculture, Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen. Email: surd1985@mail.ru

Эффективность интегрированной защиты растений во многом определяется качеством мониторинга численности и вида насекомых-вредителей за счет сокращения сроков его проведения путем передачи полученных данных по беспроводному каналу связи. Применение ВидеоСветоловушки позволит более точно провести анализ насекомых-вредителей, а также и полезных видов. Для моментальной методики расчета основных параметров ВидеоСветоловушек с установленным беспроводным каналом связи создано программное обеспечение, предназначенное для выбора необходимых параметров элементов установки не только в зависимости от характеристик потребителя, но и от особенностей клима-

тических условий в месте проведения исследований. На основе вводимых данных считается необходимой ёмкость аккумуляторной батареи для поддержания работы установки в тёмное время суток, необходимая мощность солнечной батареи для обеспечения работы установки в светлое время суток и подзаряда аккумулятора, а также общее потребление установки. При этом учитывается, что светодиоды работают только ночью, а видеорегистратор с видеокамерами круглосуточно. Также пользователь может добавлять произвольное количество ловушек и удалять их. На основе подсчитанных данных должны строиться графики зависимости запаса энергии от времени суток и зависимости мощности

фотоэлектрического преобразователя от уровня суток без учёта ясности. В программе создана возможность сохранения загрузки параметров установки, автоматического сохранения при подсчёте, автоматической загрузки последнего автосохранения при открытии программы. Для использования ВидеоСветоловушки в различных регионах Российской Федерации было создано программное обеспечение, позволяющее установить основные технические характеристики систем ВидеоСветоловушек.

Ключевые слова: насекомые-вредители, фотоэлектрический преобразователь, аккумуляторная батарея, беспроводной канал связи, мониторинг, программа для ЭВМ, источник света.

The effectiveness of integrated plant protection is largely determined by quality monitoring of the number and type of insect pests by reducing the time of meeting by transmitting data received wirelessly. Application of VideoLightTraps will more accurately conduct analysis of insect pests, as well as useful species through wireless communication channel it is more active to identify the time of day, and any flying insects. For instant calculating basic parameters established VideoLightTraps wireless communication channel was created, software designed to select the necessary parameters to the installation of not only depending on consumer characteristics, but also on particular climatic conditions in the place of the study. Based on data input it is considered necessary battery capacity, in order to maintain operation of the unit in the dark, the power required for solar installation work in the daytime and battery recharging, as well as the total consumption of the installation. This takes into account that the LEDs operate only at night and DVR with video cameras work around the clock. In addition, you can add any number of traps and remove them. On the basis of the entered data the necessary capacity of the battery for maintenance of work of installation in night-time, the necessary power of the solar battery for ensuring work of installation during daylight hours and an accumulator sub-charge, and also the general consumption of installation is considered. In the program the possibility of preservation of loading of parameters of the unit, automatic preservation at calculation, automatic

loading of the last autosave when opening the program is created. For VideoLightTraps use in various regions of the Russian Federation the software allowing establishing the main technical characteristics of systems of VideoLightTraps was created.

Keywords: *pests, photoelectric converter, rechargeable battery, wireless channel of communication, monitoring, computer program, light source.*

Введение. При мониторинге количества и видов насекомых-вредителей с использованием ВидеоСветоловушки возник вопрос о применении данной установки в различных регионах Российской Федерации, так как действующая ВидеоСветоловушка применялась только на юге Тюменской области. Расчет основных конструктивных параметров ВидеоСветоловушки – длительный и трудоемкий процесс. При расчете параметров аккумуляторной батареи (АКБ) нужно учитывать количество циклов «заряд-разряд», запас энергии АКБ в течение светлого времени суток с возможностью работы в темное время суток и в непогоду, также требуется производить расчет параметров фотоэлектрического преобразователя, чтобы в течение светового дня мощности ФЭП хватало для заряда АКБ и работы блока «Видеонаблюдения с передачей данных по беспроводному каналу связи». На основании этого определились цель и задачи работы.

Цель работы. Создание программы для ЭВМ с возможностью расчета основных технических характеристик ВидеоСветоловушки с беспроводным каналом связи.

Задачи: математическое описание известных методов расчета ёмкости АКБ и фотоэлектрического преобразователя (ФЭП); разработка программного обеспечения для расчета основных конструктивных параметров ВидеоСветоловушки.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим исследование параметров аккумуляторной батареи и фотоэлектрического преобразователя.

Математическое описание АКБ методом Пейкерта

Широкий диапазон изменения разрядного тока является характерной особенностью при работе аккумуляторных батарей при установленных режимах нагрузки, определяемых многофакторностью и вероятностным характером воздействия внешней среды [4].

Наиболее широкое распространение в решении задачи математического моделирования ТАБ получила формула Пейкерта [4]

$$C = I_p^n \cdot t_p, \quad (1)$$

где n – показатель степени и постоянная C находятся опытным путем для каждого типа батареи; I_p, t_p – ток и время разряда, или [4]

$$Q = C \cdot I_p^{1-n}, \quad (2)$$

где Q – емкость ТАБ, отданная при разряде током $I_p = \text{const}$ [4].

Если ток разряда I_{p1} не постоянный, то ёмкость Q_1 рассчитывается по измененной формуле Пейкерта: $Q_1 = Q(I_p/I_{p1})^{n-1}$. Ёмкость батареи при разных периодах разряда определяется по формуле: $Q_1 = Q(t_{p1}/t_p)^m$, где $m = 1-1/n$ [4].

Наиболее общий вид для всех основных типов АКБ у формулы остаточной емкости при разряде средними и малыми токами [4].

$$Q = (Q_{\text{НОМ}}/B)(t_{p\text{НОМ}}/t_p)^m, \quad (3)$$

где B – константа, определяемая экспериментально [4].

При малых значениях временных интервалов разряда и больших токах

$$Q = \left(\frac{Q_{\text{НОМ}}}{B}\right) \left[\left(\frac{t_p}{t_{p\text{НОМ}}}\right)^\alpha - \frac{2Q_{\text{НОМ}}E_a}{t_{p\text{НОМ}}I_k(E_{\text{АКБ}} - U_{\text{кр}})} \right]^\beta, \quad (4)$$

где E_a – ЭДС АКБ; $I_k = E_a/R_a$ – ток к.з.; R_a – собственное сопротивление батареи; $U_{\text{кр}}$ – напряжение в конце цикла разрядки; B, α, β – константы [4].

Выражение для тока разряда I_p имеет вид [4]

$$Q = \left(\frac{Q_{\text{НОМ}}}{B}\right) \left[\left(\frac{I_p}{I_{p\text{НОМ}}}\right)^\alpha - \frac{2Q_{\text{НОМ}}E_a}{t_{p\text{НОМ}}I_k(E_a - U_{\text{кр}})} \right]^\beta. \quad (5)$$

При различных токах разряда выражение приобретает следующий вид [4]:

$$Q = \left(\frac{I_p}{A}\right) \left[\left(\frac{I_p}{I_{p\text{НОМ}}}\right)^\alpha - B \right]^\beta. \quad (6)$$

Для средних и больших токов наилучшие результаты будет обеспечивать предложенная модель (6), а при разряде токами всего диапазона – от минимального до тока к.з. – относительная погрешность по модели (6) не будет превышать 1,15 % [4, 8, 9].

Модель математического описания АКБ методом Шеферда

Данный метод позволяет описать аналитическим уравнением зависимость $U = f(I, t)$ [4]

$$E = E_s - K \cdot \frac{Q}{Q - I \cdot t} \cdot I - N \cdot I + A \cdot e^{\frac{I \cdot t}{B \cdot Q}} - C \cdot I \cdot t, \quad (7)$$

где E_s – начальное напряжение разряда; B ; K – коэффициент поляризации, Ом·см; N – внутреннее сопротивление элемента, Ом·см; Q – количество (ёмкость) активного материала, А·ч/элемент; I – ток разряда, А; t – время разряда, ч; A – эмпирический коэффициент; B ; B – эмпирический коэффициент; C – коэффициент, В·см/(А·с) [4, 6, 9].

Данное уравнение было получено при следующих допущениях: 1) анод или катод имеет пористый активный материал; 2) сопротивление электролита остается постоянным во время разряда; 3) элемент разряжается постоянным током; 4) поляризация является функцией постоянного тока [4].

Член $A \cdot e^{\frac{I \cdot t}{B \cdot Q}}$ уравнения (7) введен для учёта падения напряжения в начале разряда. В большинстве случаев падение напряжения происходит в очень короткое время, и этим членом можно пренебречь. На рисунке 1 отмечены выбранные для двух кривых точки 1...8, которые были получены при умеренно низких и высоких токах I_a и I_b [4].

Разрядные кривые следует выбирать так, чтобы реальные токи разряда находились в диапазоне, охватываемом двумя указанными кривыми [4, 8].

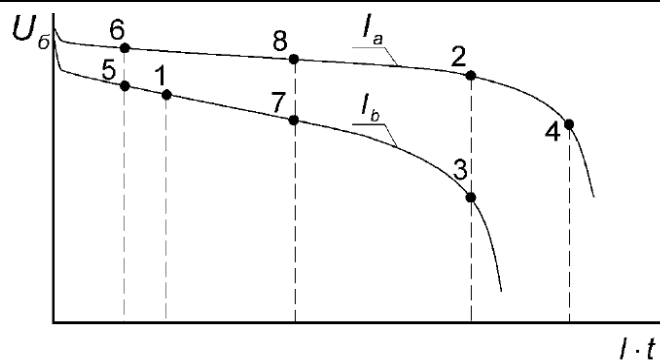


Рис. 1. Выбор точек на экспериментальных разрядных кривых при определении коэффициентов Шеферда

Восемь точек (см. рис. 1) выбираются исходя из следующих условий:

$$I_b \cdot t_1 > I_b \cdot t_5; I_b \cdot t_3 = I_a \cdot t_2; I_a \cdot t_6 = I_b \cdot t_5; I_b \cdot t_8 = I_b \cdot t_7; I_b \cdot t_7 < I_b \cdot t_3; I_b \cdot t_1 < I_b \cdot t_3; \quad (8)$$

Далее составляется система уравнений [4]

$$\frac{I_b \cdot t_3}{I_a \cdot t_4} < 0,7$$

$$\begin{cases} E_5 = E_S - K \cdot \frac{Q}{Q - I_b \cdot t_5} \cdot I_b - N \cdot I_b - C \cdot I_b \cdot t_5 \\ E_7 = E_S - K \cdot \frac{Q}{Q - I_b \cdot t_7} \cdot I_b - N \cdot I_b - C \cdot I_b \cdot t_7 \\ E_6 = E_S - K \cdot \frac{Q}{Q - I_a \cdot t_6} \cdot I_a - N \cdot I_a - C \cdot I_a \cdot t_6 \\ E_8 = E_S - K \cdot \frac{Q}{Q - I_a \cdot t_8} \cdot I_a - N \cdot I_a - C \cdot I_a \cdot t_8 \end{cases}, \quad (9)$$

из которой определяются значения коэффициентов уравнения Шеферда [4]. Полученные при этом выражения приводятся ниже [4].

$$C = \frac{I_b \cdot (E_6 - E_8) - I_a \cdot (E_5 - E_1)}{(I_b - I_a) \cdot I_b \cdot (t_7 - t_5)}. \quad (10)$$

После следующей замены переменных:

$$\begin{aligned} E'_1 &= E_1 + C \cdot I_b \cdot t_1 \\ E'_2 &= E_2 + C \cdot I_a \cdot t_2 \\ E'_3 &= E_3 + C \cdot I_b \cdot t_3 \\ E'_4 &= E_4 + C \cdot I_a \cdot t_4 \end{aligned} \quad (11)$$

получим:

$$Q = \frac{I_a \cdot I_b^2 \cdot t_4 \cdot (E'_2 - E'_4) \cdot (t_3 - t_1) - I_b \cdot t_1 \cdot (E'_1 - E'_3) \cdot (t_4 - t_2) \cdot I_a^2}{I_b^2 \cdot (E'_2 - E'_4) \cdot (t_3 - t_1) - I_a^2 \cdot (E'_1 - E'_3) \cdot (t_4 - t_2)}, \quad (12)$$

$$K = \frac{(E'_2 - E'_4) \cdot (Q - I_a \cdot t_4) \cdot (Q - I_a \cdot t_2)}{(t_4 - t_2) \cdot Q \cdot I_b^2}, \quad (13)$$

$$N = \frac{-K \cdot Q}{I_a - I_b} \cdot \left(\frac{I_a}{Q - I_a \cdot t_2} - \frac{I_b}{Q - I_b \cdot t_1} \right) + \frac{E'_1 - E'_2}{I_a - I_b}; \quad (14)$$

$$E_S = E'_1 + N \cdot I_b + \frac{K \cdot I_b \cdot Q}{Q - I_b \cdot t_1}. \quad (15)$$

Как видно из формул, для определения коэффициента С используются точки 5, 6, 7, 8, а для определения коэффициентов Q, K, N, Es – точки 1, 2, 3, 4.

Предложенные модели разрядных характеристик могут быть использованы для выбора АКБ [4, 8, 9].

Математическое описание фотоэлектрического преобразователя

$$k_{\psi} = \begin{cases} 0 & \text{если } \cos\psi \leq 0,12 \\ \cos\psi \cdot \left(1 - \frac{-3,2 \cdot \cos\psi}{1 - \cos\psi}\right) & \text{если } 0,12 < \cos\psi \leq 0,75 \\ \cos\psi & \text{если } \cos\psi > 0,75 \end{cases}$$

где $\cos\psi$ – угол падения солнечных лучей на поверхность ФЭП [1–3, 6].

Для описания характеристик фотоэлемента применяют модель Шоккли, в основу которой положено уравнение поведения идеального ди-

$$I_H = I_{opt} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (U + I_H R_n)}{A_k \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{U}{R_{ш}}, \quad (17)$$

где I_H – ток нагрузки, А; I_{opt} – значение тока в оптимальной точке при различных температурах, А; I_0 – обратный ток насыщения, А; q – заряд электрона, $q=1,6 \cdot 10^{-17}$ Кл; U – напряжение на нагрузку, В; R_n – последовательное сопротивление, Ом; A_k – диодный коэффициент; k – посто-

$$U_{xxt} = U_{xx} + dU_t \cdot (T_0 - T), \quad (18)$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода при стандартной температуре и изменении освещенности [3]

$$U_{xx} = \frac{A_k \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{opt}}{I_0} + 1\right), \quad (19)$$

dU_t – температурный коэффициент по напряжению, мВ/°С; T_0 – стандартная температура, $T_0=+25^\circ\text{C}$ [3].

$$I_{opt} = I_{кз} \cdot (E_{ФЭП}/E_0) - dI_t \cdot (E_{ФЭП}/E_0) \cdot (T_0 - T), \quad (20)$$

где $I_{кз} \cdot (E_{ФЭП}/E_0)$ – изменение тока короткого замыкания по освещенности; E_0 – значение освещенности при стандартных условиях, $E_0= 1000$ Вт/м²; $E_{ФЭП}$ – среднемесячное среднее дневное значение плотности солнечного излучения, по-

$$I_0 = \frac{I_{opt}}{\exp\left(\frac{(q \cdot U_{xx} \cdot \xi)}{(A_k \cdot k \cdot (T + 237))}\right)}. \quad (21)$$

Максимальная мощность [3]

$$P_{max} = U_{opt} \cdot I_{opt}. \quad (22)$$

Как видно, при моделировании ФЭП необходимо учитывать коэффициенты по току и по напряжению [3].

Расчет и создание программы для ЭВМ «ВидеоСветоловушка»

Условия освещенности солнечной батареи характеризуются интенсивностью светового потока Солнца, углом падения солнечных лучей на поверхность солнечной батареи [3, 6].

Коэффициент освещенности учитывает угол падения солнечных лучей, увеличение отражательной способности поверхности при углах ψ , близких к 90° [3]

ода в заданных условиях фототока и температуры. В этом уравнении параметры U_{xx} , $I_{кз}$, U_{opt} , I_{opt} , P_{max} могут определяться на основе расчета как полупроводниковой структуры, так и экспериментальных исследований [3].

янная Больцмана, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж; T – абсолютная температура СЭ, К; $R_{ш}$ – шунтовое сопротивление, Ом [1, 3].

Напряжение холостого хода при изменении температуры [3]

Значение тока при различных температурах и освещенностях [3]:

ступающего на поверхность ФЭП, Вт/м²; dI_t – температурный коэффициент по току, мкА/°С [1–3].

Обратный ток насыщения зависит от температуры [3]

Исходными данными для расчета модели ВидеоСветоловушка служат паспортные данные видеорежистратора, USB модема, видеокамер, светодиодов, а также метеорологические условия (солнечно, облачно, пасмурно) [5].

При создании ВидеоСветоловушки построена схема, состоящая из 3 функциональных модулей (рис. 2):

- Фотоэлектрический преобразователь (ФЭП)-4.
- Аккумуляторная батарея АКБ-1. Хранилище электроэнергии для обеспечения ВидеоСве-

толовушки в течение суток и когда ФЭП не активна.

- Фиксирующая система ФС-2,5. ФС – это набор технических средств для сбора необходимой информации.

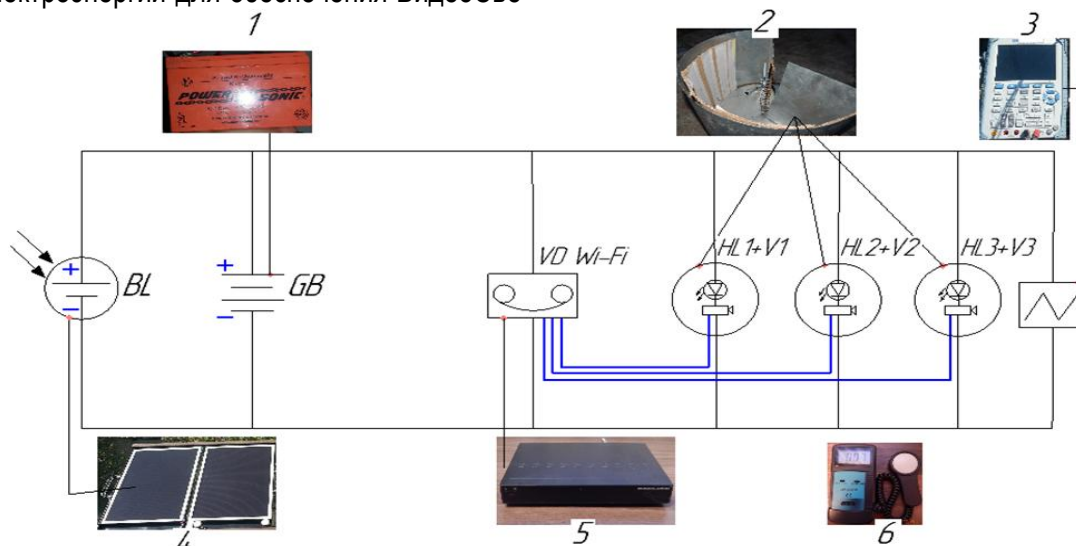


Рис. 2. Принципиальная схема ВидеоСветоловушки:

1 – АКБ типа PS-12120; 2 – светоловушка с видеочкамерой (W11A); 3 – осциллограф АКИП – 4113/1; 4 – фотоэлектрический преобразователь (TPS-936M0); 5 – видеореги­стратор (RL-A4-100) +USB модем; 6 – люксметр LX-101

При расчете ВидеоСветоловушки введем следующие понятия:

- $T_{light}[ч]$ – светлое время суток (СВС) – время, когда ФЭП преобразует солнечную энергию в электрическую;
- $T_{dark}=(24-T_{light}) [ч]$ – темное время суток (ТВС) – время, когда ФЭП не активна;
- $P_{fep} [Вт]$ – мощность ФЭП;
- $P_{led} [Вт]$ – мощность одного светодиода;
- $N_{led} [ед.]$ – количество светодиодов в одной ловушке;
- $P_{cam} [Вт]$ – мощность камеры в светоловушке;
- $N_{dev} [ед.]$ – количество светоловушек;
- $P_{vr} [Вт]$ – мощность видеореги­стратора;
- $P_{modem} [Вт]$ – мощность модема;
- $Clr [д. ед.]$ – средний процент благоприятных погодных условий отдельного региона на период работы ВидеоСветоловушки [7].

Энергии, произведенной ФЭП за светлое время суток, должно быть достаточно для обеспечения бесперебойной работы ВидеоСветоловушки в течение суток. Соответственно, для расчета энергетического баланса энергия, про-

изведенная ФЭП за светлое время суток, будет иметь вид (Вт · ч)

$$W_{fep} = P_{fep} \cdot T_{light} \cdot Clr. \quad (23)$$

Разбивают ФС на блоки, работающие по разным схемам: первый блок – модем, видеореги­стратор и камеры в ВидеоСветоловушках, такой блок будет работать круглосуточно; второй блок – светодиодные панели в ВидеоСветоловушках, включающиеся только в темное время суток по команде фотореле.

Такое разделение помогает сократить расход электроэнергии, а следовательно, снизить требования к системе энергообеспечения установки.

Потребление энергии блоком 1 запишем в виде (Вт · ч)

$$W_{b1} = (P_{cam} \cdot N_{dev} + P_{vr} + P_{modem}) \cdot 24. \quad (24)$$

Потребление энергии блоком 2 будет выглядеть следующим образом (Вт · ч):

$$W_{b2} = P_{led} \cdot N_{led} \cdot N_{dev} \cdot T_{dark}. \quad (25)$$

Условие энергобаланса (производство равно потреблению) (Вт · ч)

$$W_{fep} = W1 + W2. \quad (26)$$

При выборе ФЭП для обеспечения работы блока «Видеонаблюдения с передачей данных

по беспроводному каналу связи» и подзаряда АКБ приворняем уравнения (25) и (24) с уравнением (23) и получим (Вт · ч)

$$P_{fep} \cdot T_{light} \cdot Clr = ((P_{cam} \cdot N_{dev} + P_{vr} + P_{modem}) \cdot 24) + (P_{led} \cdot N_{led} \cdot N_{dev} \cdot T_{dark}). \quad (27)$$

Выразим из (27) требуемую мощность ФЭП и запишем в следующем виде (Вт):

$$P_{fep} = ((P_{cam} \cdot N_{dev} + P_{vr} + P_{modem}) \cdot 24 + P_{led} \cdot N_{led} \cdot N_{dev} \cdot T_{dark}) \div (T_{light} \cdot Clr). \quad (28)$$

Для обеспечения ВидеоСветоловушки электроэнергией в темное время суток емкости АКБ должно быть достаточно для бесперебойной

работы, соответственно, уравнение для выбора АКБ будет иметь вид (Вт·ч)

$$W_{bat} = (P_{cam} \cdot N_{dev} + P_{vr} + P_{modem}) \cdot T_{dark} + P_{led} \cdot N_{led} \cdot N_{dev} \cdot T_{dark}. \quad (29)$$

Описанные выше соотношения позволяют выбрать необходимые параметры элементов установки в зависимости не только от характе-

ристик потребителя, но и от особенностей климатических условий на месте проведения исследований [7].

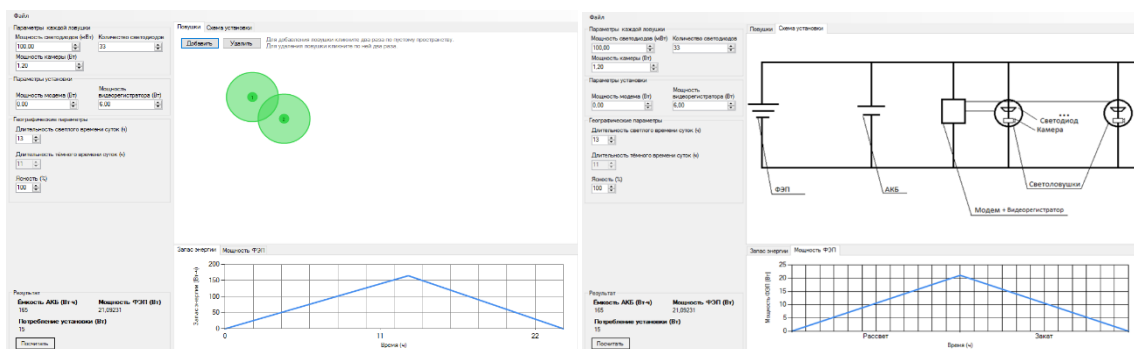


Рис. 3. Снимки с экрана рабочей программы «Energy Calculator»

Выводы

1. Для расчета основных конструктивных параметров ВидеоСветоловушки создана программа для ЭВМ «Energy Calculator» (см. рис. 3).
2. Проведено описание известных математических методов расчета ёмкости АКБ и ФЭП.
3. Программа высчитывает такие параметры, как:
 - а) необходимая ёмкость АКБ;
 - б) необходимая мощность ФЭП;
 - в) общее потребление энергии ВидеоСветоловушки (при этом будет учитываться, что светодиоды работают только ночью).

4. С использованием программного обеспечения появилась возможность моментально производить расчет технических параметров ВидеоСветоловушки с беспроводным каналом связи, применять ВидеоСветоловушку в различных регионах РФ.

Литература

1. Бордина Н.М., Летин В.А. Моделирование вольтамперных характеристик солнечных элементов и солнечных батарей. – М.: Информэлектро, 1986. – 62 с.

2. Иванова Г.С., Ничушкина Т.Н. Проектирование программного обеспечения: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 104 с.
3. Ничушкина Т.Н., Лохматов Ю.Ю. Математическое моделирование вольтамперных характеристик и тепловыделения солнечных батарей космического аппарата// Молодежный научно-технический вестник. – М.: Изд-во МГТУ, 2016. – 11 с.
4. Строганов В.И., Сидоров К.М. Математическое моделирование основных компонентов силовых установок электромобилей и автомобилей с КЭУ: учеб. пособие. – М.: Изд-во МАДИ, 2015. – С. 55–64.
5. Патент на полезную модель № 146666 / Суринский Д.О., Савчук И.В. [и др.]. – 2013.
6. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617195 / Савчук И.В., Суринский Д.О., Мельник С.И. – 2016.
8. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. – М., 1980.
9. Математическое моделирование аккумуляторов при разряде их токами от холостого хода до короткого замыкания / В.И. Строганов, Нгуен Куанг Тхиеу, Д.И. Гурьянов // Наука – производству. – 2004. – № 8.
10. Гудкова А.В., Губин С.В., Белоконов В.И. Термостабилизация фотоэлектрических преобразователей для измерения ВАХ с импульсным источником света // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2012. – № 57. – С. 188–189.
11. URL: <http://altenergiya.ru/sun/solnce-kak-istochnik-energii.html>.

Literatura

1. Bordina N.M., Letin V.A. Modelirovanie vol'tampernyh harakteristik solnechnyh jelementov i solnechnyh batarej. – М.: Informjel-ektro, 1986. – 62 s.
2. Ivanova G.S., Nichushkina T.N. Proektirovanie programmogo obespechenija: uceb. posobie. – М.: Izd-vo MGTU, 2003. – 104 s.
3. Nichushkina T.N., Lohmatov Ju.Ju. Matematicheskoe modelirovanie vol'tamper-nyh harakteristik i teplovydelenija solnechnyh batarej kosmicheskogo apparata// Molodezh-nyj nauchno-tehnicheskij vestnik. – М.: Izd-vo MGTU, 2016. – 11 s.
4. Stroganov V.I., Sidorov K.M. Matematicheskoe modelirovanie osnovnyh komponentov silovyh ustanovok jelektromobilej i avtomobilej s KJeU: uceb. posobie. – М.: Izd-vo MADI, 2015. – S. 55–64.
5. Patent na poleznuju model' № 146666 / Surinskij D.O., Savchuk I.V. [i dr.]. – 2013.
6. Raushenbah G. Spravochnik po proektirovaniju solnechnyh batarej: per. s angl. – М.: Jenergoatomizdat, 1983. – 360 s.
7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2016617195 / Savchuk I.V., Surinskij D.O., Mel'nik S.I. – 2016.
8. Sipajlov G.A., Loos A.V. Matematicheskoe modelirovanie jelektricheskij mashin. – М., 1980.
9. Matematicheskoe modelirovanie akkumuljatorov pri razrjade ih tokami ot holostogo hoda do korotkogo zamykanija / V.I. Stroganov, Nguen Kuang Thieu, D.I. Gur'janov // Nauka – proizvodstvu. – 2004. – № 8.
10. Gudkova A.V., Gubin S.V., Belokon' V.I. Termostabilizacija foto-jelektricheskij preobrazovatelej dlja izmerenija VAH s impul'snym istochni-kom sveta // Otkrytye informacionnye i komp'juternye integriro-vannye tehnologii. – 2012. – № 57. – S. 188–189.
11. URL: <http://altenergiya.ru/sun/solnce-kak-istochnik-energii.html>.