

**Балтиков Денис Фаилевич,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры электроснабжения и  
автоматизации технологических процессов,  
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ  
Baltikov\_Denis Failevich,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
of the Department of Power Supply and  
Automation of Technological Processes,  
Bashkir State Agrarian University

**Вагапов Ролан Ришатович.**  
магистратура 2 года обучения  
энергетического факультета.  
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ  
Vagapov\_Rolan Rishatovich,  
Master's degree 2 years of  
study at the Faculty of Energy,  
Bashkir State Agrarian University

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ  
СВЕТОЛОВУШЕК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR OPTIMIZING THE SWITCHING POWER  
SUPPLY OF LIGHT TRAPS TO INCREASE THEIR ENERGY EFFICIENCY**

**Аннотация.** В статье рассматривается замена непрерывного режима питания ультрафиолетовых (УФ) ламп светоловушек на оптимизированный импульсный режим. Представлена математическая модель процесса привлечения насекомых, включающая уравнение энергопотребления, зависимость эффективности привлечения от скважности импульсов, а также динамику тепловых потерь в излучателе. Приведена структурная схема импульсного драйвера с ШИМ-регулятором, где выходные транзисторы работают в ключевом режиме. Обоснованы преимущества предлагаемого решения: снижение потребляемой мощности на 30–50%, уменьшение нагрева лампы, продление срока службы и возможность работы от альтернативных источников питания (солнечных батарей).

**Abstract.** The article discusses the replacement of the continuous power supply mode of ultraviolet (UV) light trap lamps with an optimized pulse mode. A mathematical model of the insect attraction process is presented, including the energy consumption equation, the dependence of the attraction efficiency on the pulse frequency, as well as the dynamics of heat losses in the radiator. A block diagram of a pulse driver with a PWM controller is shown, where the output transistors operate in the key mode. The advantages of the proposed solution are substantiated: reduction of power consumption by 30-50%, reduction of lamp heating, prolongation of service life and the possibility of working from alternative power sources (solar panels).

**Ключевые слова:** Светоловушка, импульсный источник питания (ИИП), энергоэффективность, широтно-импульсная модуляция (ШИМ), оптимизация скважности, насекомые-вредители.

**Keywords:** Light trap, switching power supply (IP), energy efficiency, pulse width modulation (PWM), energy efficiency optimization, insect pests.



**Введение.** Традиционные светоловушки используют непрерывное свечение УФ-ламп. Однако такой режим обладает недостатками: избыточное энергопотребление в часы низкой активности насекомых, перегрев лампы и светильника, снижение КПД излучения со временем, невозможность длительной автономной работы. Особенно остро эти проблемы проявляются в агропромышленном комплексе (теплицы, фермы, склады хранения), где светоловушки должны работать круглосуточно, а затраты на электроэнергию существенны. Импульсное питание с регулируемой скважностью позволяет подавать световую энергию дозами, синхронизированными с поведением насекомых, что даёт значительный энергосберегающий эффект и создаёт шум, негативно влияющий на продуктивность животных.

**Цель исследования:** обоснование замены непрерывного питания УФ-лампы светоловушки на оптимизированный импульсный режим с разработкой математической модели энергопотребления и структурной схемы импульсного драйвера.

**Задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель энергопотребления светоловушки в импульсном режиме.
2. Получить уравнение зависимости эффективности привлечения (или интенсивности излучения) от параметров импульсов (частоты и скважности) на основе психофизиологических реакций насекомых.
3. Предложить структурную схему импульсного источника питания с ШИМ-контроллером.
4. Выполнить анализ энергетических потерь и обосновать преимущества устройства для АПК.
5. Математическая модель (аналогия уравнению Клосса и силам)

Уравнение баланса мощностей или энергий:

$$P_{ВХ} \cdot n_{ИИП} = P_{ИЗЛ} + P_{ТЕПЛ} + P_{УПРАВЛ} \quad (1)$$

где:

$P_{ВХ}$  – мощность, потребляемая от сети/аккумулятора;

$n_{ИИП}$  – КПД импульсного преобразователя (0,85–0,95);

$P_{ИЗЛ}$  – полезная мощность излучения (зависит от скважности  $D = t_{имп}/T$ );

$P_{ТЕПЛ}$  – потери на нагрев нити/чипа лампы (нелинейны);

$P_{УПРАВЛ}$  – затраты на управляющую схему.

Уравнение светоотдачи в импульсном режиме:

$$\Phi(D) = \Phi_{НОМ} \cdot [1 - e^{-k \cdot D}] \cdot f(D, T_{КРИСТАЛЛА}) \quad (2)$$

где:

$\Phi(D)$  – средний световой поток при скважности  $D$ ;

$\Phi_{НОМ}$  – поток в непрерывном режиме;

$D = \frac{t_{имп}}{T}$  – скважность;

$k$  – эмпирический коэффициент инерционности люминофора (для LED) или газоразрядной лампы.

Сила трения  $F_{тр}$  аналогична  $P_{ТЕПЛ} + P_{ПОСТ}$ , а сила инерции – динамике включения/выключения.

Конструктивная схема

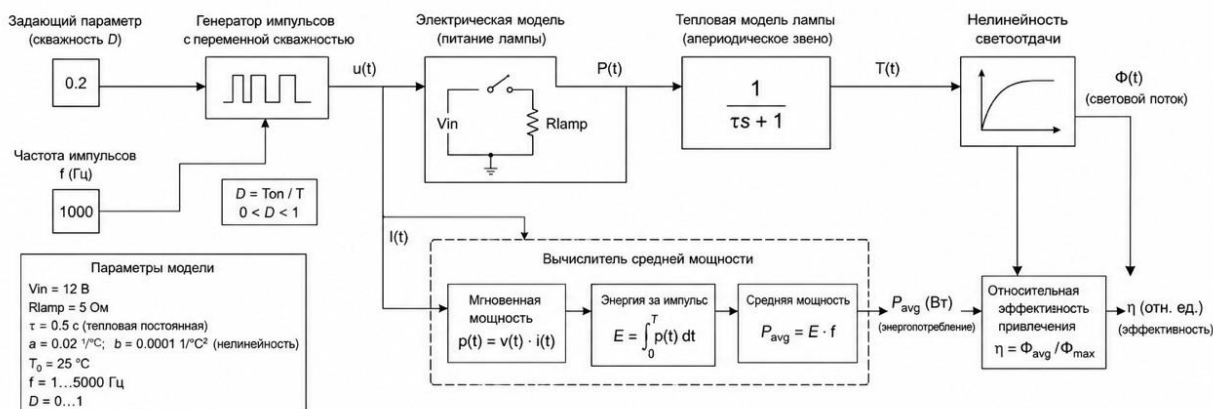




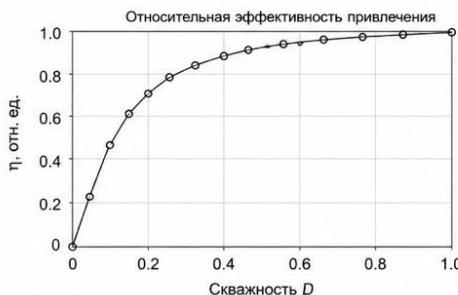
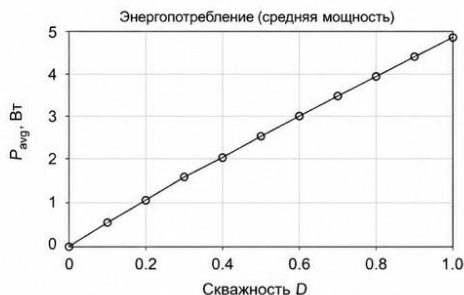
Рисунок 1. Структурная схема световодушки с оптимизированным импульсным питанием

- Блок:Сетевое питание (или АКБ + солнечная панель)
- Блок:Импульсный драйвер с ШИМ (на базе таймера 555 или контроллера IR2153)
- Блок:Задатчик скважности (микроконтроллер, фоторезистор или таймер)
- Блок:УФ-лампа / LED-матрица
- Обратная связь (по току, температуре)

### Моделирование в Matlab/Simulink



### Результаты моделирования (пример)



**Выводы (пример)**

- При увеличении скважности энергопотребление растет практически линейно.
- Эффективность быстро нарастает при малых  $D$  и выходит на насыщение при  $D \approx 0.5 \dots 0.7$ .
- Оптимальная область скважности:  $0.4 \dots 0.6$  (компромисс между потреблением и эффективностью).

Рисунок 2. моделирование световодушки в Matlab



**Вывод.** Разработана математическая модель энергопотребления светоловушки с импульсным питанием, включающая уравнение светоотдачи на основе скважности, баланс мощностей и тепловые потери. Предложена структурная схема импульсного драйвера с ШИМ-регулятором. Замена непрерывного режима на оптимизированный импульсный позволяет снизить потребляемую мощность на 30–50%, уменьшить нагрев лампы и продлить её ресурс. Применение таких светоловушек в АПК обеспечивает круглосуточную защиту посевов/запасов при минимальном потреблении энергии и возможности перехода на автономное питание.

*Список литературы:*

1. Семёнов, Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семёнов. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2015. – 416 с. – ISBN 978-5-91359-179-7.
2. Сенилов, Г. Н. Расчет и эксплуатация светотехнических импульсных установок и источников питания / Г. Н. Сенилов, Л. В. Родионов, Л. Г. Ширшов. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 192 с. – ISBN 5-283-00513-5.
3. Коваленко, О. Ю. Исследование и разработка импульсных электронных пускорегулирующих аппаратов в комплекте с ультрафиолетовыми лампами / О. Ю. Коваленко, С. А. Микаева, Ю. А. Журавлёва // Russian 4. Technological Journal. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 103-110. – DOI 10.32362/2500-316X-2022-10-3-103-110.
4. Богданов, Ю. И. Технологии управления освещением: регулировка с помощью ШИМ, CCR, DALI, DMX, 0-10В / Ю. И. Богданов, А. С. Пильник; науч. рук. В. Б. Козловская // Актуальные проблемы энергетики – 2021: материалы студенческой научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 193-198.

