

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗОВ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ИХ СРОКА СЛУЖБЫ

**А. В. Белов, Ю. П. Ильин**

*Южно-Уральский государственный аграрный университет (ЮУрГАУ),*

*Институт агроинженерии*

*454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75*

**Аннотация.** Целью исследований является выявление причин отказов светодиодных ламп бытового назначения и разработка рекомендаций по увеличению их срока службы. Светодиодные лампы получили большое распространение благодаря высокой светоотдаче, что дает экономию электроэнергии. Так, светодиодная лампа мощностью 5 Вт может заменить лампу накаливания мощностью 40 Вт. Кроме того, срок непрерывного горения светодиодных ламп бытового назначения, как обозначено обычно на их упаковке, составляет не менее 30000 часов, что в 30 раз больше такого же показателя для ламп накаливания. Однако рекламируемый производителями срок службы ламп, как правило, не выдерживается. Производителям это известно, поскольку ими установлен гарантийный срок службы ламп, как правило, не более года (т.е. 1000–1500 часов при ежедневном включении на 3-4 часа). Как показал анализ, наиболее часто выходят из строя конкретные элементы ламп, такие как светодиоды и электролитические конденсаторы. Основной причиной выхода из строя является высокий температурный режим, который не соответствует оптимальным условиям работы этих элементов. Выявлено, что температурный режим задан драйвером лампы, т.е. заложен производителями в конструкцию лампы. Такая настройка драйвера со стороны производителей обусловлена необходимостью поддерживать объем продаж. Разработан ряд рекомендаций, выполнение которых позволяет увеличить срок службы светодиодных ламп.

**Ключевые слова:** светодиодная лампа, драйвер, электролитический конденсатор, температурный режим, светоотдача.

**Введение.** Светодиодные лампы получили большое распространение и практически вытеснили из домашнего обихода не только лампы накаливания, но и бытовые люминесцентные (энергосберегающие) лампы. Такое распространение обусловлено, прежде всего, высокой световой отдачей (до 85 лм/Вт против 15 лм/Вт для ламп накаливания), что дает большую экономию электроэнергии [1]. Преимущества светодиодных ламп перед лампами накаливания и энергосберегающими видны из таблицы 1 [1].

Таблица 1 – Сравнение светодиодных ламп с лампами накаливания и люминесцентными лампами

Показатель	 Светодиодная лампа	 Люминесцентная лампа	 Лампа накаливания
Энергопотребление	5 Вт = 40 Вт	7 Вт = 40 Вт	40 Вт = 40 Вт
Срок службы	> 20000 ч	5000 ч	1000 ч
Тепловыделение (температура на поверхности)	Низкое (70 °С)	Среднее (100 °С)	Высокое (>150 °С)
Экологичность	Да	Нет	Нет
Ударопрочность	Да	Нет	Нет
Эффект Вкл/Выкл	Нет	Да	Да

Кроме высокой светоотдачи, светодиоды имеют много других достоинств: большой срок службы (долговечность), высокую устойчивость к внешним воздействующим факторам (окружающей температуре, механическим нагрузкам); полную экологическую безопасность из-за отсутствия ртути. Широкая цветовая гамма и разнообразие углов излучения (от 3°, то есть очень узкого светового пучка, до 180°, то есть равномерного свечения в полусфере) способствуют использованию светодиодов в различных световых приборах.

Единственным недостатком светодиодных ламп является их сравнительно высокая стоимость (в 7-10 раз по сравнению с лампами накаливания), однако она должна компенсироваться высокой долговечностью (30000 часов по сравнению с 1000 для лампы накаливания). На упаковках светодиодных ламп указан срок службы лампы – 30000 часов, что в соответствии со стандартом IES LM-70 означает, что за это время лампа не перегорит, а лишь снизит светоотдачу на 30%.

Между тем, в документации на лампу указано, что гарантийный срок службы, как правило, составляет всего 1 год, что в 30 раз меньше заявленного срока службы. Это свидетельствует о том, что производитель не уверен в заявленных им же показателях.

И опыт эксплуатации показывает, что реальный срок службы лампы не намного превышает гарантийный срок службы.

Так, для примера были исследованы лампы типа ASD-11Вт-4000К-E27 [7]. В таблице 2 представлено сравнение заявленных показателей лампы с фактическими:

Таблица 2 – Сравнение заявленных показателей светодиодной лампы с фактическими

Наименование параметра	Значение параметра	
	Заявленное	Фактическое
Мощность, потребляемая лампой, Вт	11	8,8
Световой поток, лм	900	815
Срок службы, ч	30000	2000

Зачастую, лампы не доживают и до гарантийного срока, хотя немногие покупатели обращаются за возвратом денег. По этому поводу в [4] сказано, что, «скорее всего, производители продумали маркетинговую компанию. Условием для замены лампы является чек и ее коробка. Если вы простой человек как я, то не станете хранить все чеки от такой мелочевки. В общем, в 90% случаев люди просто не хранят документы от купленного товара, поэтому и не идут менять лампы по гарантии. А они от силы работают 1-1,5 года».

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований является определение основных причин выхода из строя светодиодных ламп бытового назначения и разработка рекомендаций по увеличению срока их службы. В связи с изложенным, актуальным вопросом является исследование причин выхода из строя светодиодных ламп бытового назначения.

**Условия, материалы и методы исследования.** Методика работы заключалась в экспериментальном исследовании температурных режимов ламп в условиях эксплуатации и анализе их повреждений.

Светодиодная лампа, в отличие от лампы накаливания, имеет довольно сложное устройство (рисунок 1) [2].



Рис. 1. Светодиодная лампа бытового назначения

Она состоит из цоколя (для ламп бытового назначения Ц27 или Ц14), выпрямителя, драйвера, платы со светодиодами, корпуса и колбы.

Основной элемент светодиодного модуля (кластера) – светодиод. Основу светодиода составляет светодиодный чип (кристалл) [6]. Типоразмеры светодиодного чипа SMD идентифицируются по четырехзначному числу, которое обозначает размер кристалла. Так например, SMD 2835 — это современный эффективный кристалл. Габаритные размеры кристалла 2,8 x 3,5 мм, высота до 0,8 мм.

Светодиод является низковольтным аппаратом постоянного тока, поэтому ток предварительно выпрямляют, сглаживают пульсации с помощью фильтров, а светодиоды (чипы) соединяют последовательно до 38 штук в цепи. Регулирование тока через светодиоды осуществляется с помощью специального устройства – драйвера.

Выпрямитель служит для преобразования переменного тока сети в постоянный ток. Для сглаживания пульсаций используется электролитический конденсатор. Часто выпрямитель не учитывают отдельным узлом, а считают частью драйвера.

Драйвер служит для регулирования токового режима светодиодов. Его задача – поддерживать постоянство тока через светодиод вне зависимости от колебаний напряжения сети. Обычно драйвер представляет собой микросхему, которая с одной стороны присоединена к выпрямителю, а с другой – к плате светодиодов. Каждый производитель разрабатывает, как правило, собственную схему драйвера, их разработано большое количество и рассмотрение не входит в задачи данного исследования. Выпускаются светодиодные лампы с выпрямителем без драйвера, но такие лампы имеют низкое качество и в данной работе не исследовались.

Плата представляет собой алюминиевый диск с расположенными на ней светодиодами. Её основная функция – размещение и отвод тепла от светодиодов. Светодиоды крепятся к плате с помощью теплопроводимой пасты (термопасты) – клеящего вещества, хорошо проводящего тепло.

Все эти узлы помещены в корпус, который в некоторых типах ламп выполнен из алюминиевого сплава и является радиатором, отводящим тепло от платы. Но чаще всего в широко распространенных моделях корпус выполнен из пластмассы и к нему приклеена полупрозрачная матовая пластиковая или стеклянная колба (полусфера), которая служит для рассеивания света. В таких лампах единственным радиатором является алюминиевая плата, что конечно, отрицательно сказывается на условиях охлаждения светодиодов.

В эксперименте использовались светодиодные лампы как работоспособные, так и вышедшие из строя. В вышедших из строя лампах выявлялись неисправные элементы, и определялась причина выхода их из строя. На исправных лампах исследовались температурные режимы их работы при различных условиях эксплуатации. Все лампы имели цоколь E-27.

Визуальный осмотр вышедших из строя ламп при их разборке показал, что наиболее часто выходят из строя такие элементы как светодиоды и электролитические конденсаторы. Их повреждения видны невооруженным глазом. Часто при замене поврежденного конденсатора работоспособность лампы восстанавливалась. Светодиоды, как уже было сказано, включены последовательно и перегорание любого из них приводит к выходу из строя всей лампы. Перегоревший светодиод можно узнать по черной точке на желтой поверхности чипа. Закоротив перегоревший светодиод можно восстановить работоспособность лампы, т.к. оставшиеся неповрежденными светодиоды будут гореть.

Другие элементы ламп, выпрямители, резисторы, микросхемы, как правило, сохраняли свою работоспособность.

Кроме того, для эксперимента были использованы и исправные лампы, которые затем в ходе эксперимента подвергались разборке.

После подготовки были проведены эксперименты. Эксперименты были разделены на три стадии:

- 1) Исследование нагрева ламп в рабочем режиме.
- 2) Исследование работы драйвера.
- 3) Исследование температурных режимов работы светодиодов и конденсаторов.

#### **Результаты исследования.**

Эксперимент первый. Нагрев лампы в рабочем режиме.

Для исследования внутрь колбы вводился датчик температуры. Лампа включалась на номинальное напряжение. Лампы испытывались в двух положениях: горизонтальном (рисунок 2а) и вертикальном колбой вниз (рисунок 2б).



Рис. 2. Положение ламп в процессе эксперимента: а) – горизонтальное, б) – вертикальное колбой вниз

Графики нагрева ламп представлены на рисунке 3.

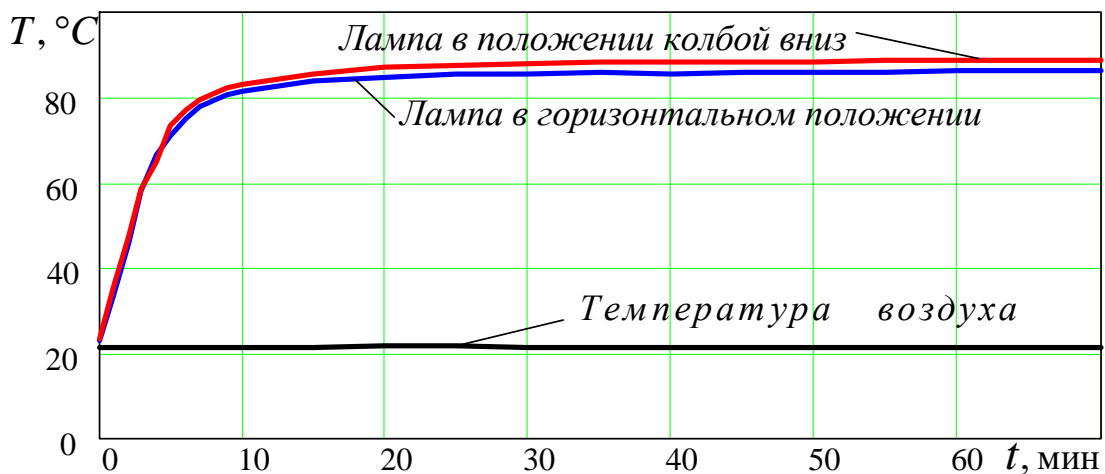


Рис. 3. Графики нагрева светодиодной лампы (лампа Smartbuy SBL-A80 20w E27 220-240v/50Hz 3000k) при горизонтальном положении (нижняя кривая) и в положении колбой вниз (верхняя кривая)

Выяснилось, что при положении колбой вниз температура внутри колбы увеличивается примерно на 3% по сравнению с горизонтальным положением лампы. Это объясняется ухудшением условий охлаждения. Исследовались лампы мощностью 15 и 20 Вт. Температура внутри колбы достигала максимального значения примерно через 20 минут после включения. Максимальное значение температуры внутри колбы составляло от 88,8 до 96 °С при температуре окружающей среды 22 °С.

Эксперимент второй. Исследование работы драйвера.

В этом эксперименте выяснялось, как потребляемая мощность лампы и её световой поток зависят от величины подаваемого напряжения. Напряжение на лампу подавалось от автотрансформатора и изменялось в диапазоне от нуля до 250 вольт. В процессе эксперимента измеряли напряжение, ток, потребляемый лампой, и освещенность поверхности на расстоянии 60 см от лампы. Для измерения освещенности применялся люксметр типа СЕМ ДТ-1301. Эксперимент проводился в темном помещении (рисунок 4)



Рис. 4. Эксперимент по исследованию работы драйвера

Результаты эксперимента представлены на рисунке 5. В данном случае исследовалась лампа Saffit 20w1900lm 4000k 175-265v/50 SBA 6020. Эксперименты с другими лампами показали сходные результаты.

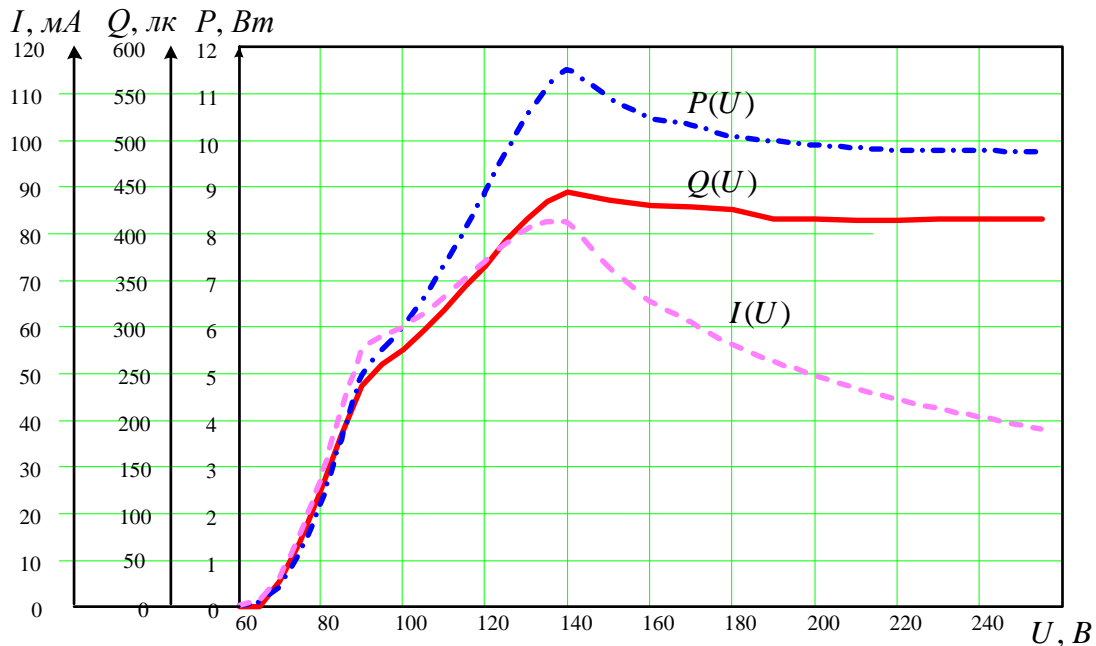


Рис. 5. Зависимость потребляемой лампой мощности, освещенности поверхности на фиксированном расстоянии от лампы и потребляемого лампой тока от напряжения сети

В результате эксперимента выяснилось, что слабое свечение лампы начинается при напряжении около 60 В. С увеличением напряжения световой поток (о величине которого можно судить по освещенности поверхности стола) увеличивается, достигая максимального значения при 140 В. Затем уровень светового потока и потребляемой мощности стабилизируется, а ток, потребляемый лампой, постепенно уменьшается. Поскольку освещенность остается неизменной на большом диапазоне изменения напряжения, можно утверждать, что ток через светодиоды также остается постоянным.

Можно сделать вывод о том, что драйверы исследуемой лампы, как и ламп аналогичной конструкции, хорошо выполняют свое предназначение, т.е. поддерживают постоянным ток через светодиоды при изменении подаваемого на лампу напряжения в широком диапазоне (от 140 до 250 В).

Можно также сделать вывод о том, что изменить режим работы лампы путем изменения подаваемого напряжения невозможно.

Здесь уместно напомнить, что лампы накаливания существенно снижают световой поток при снижении напряжения. Например, снижению напряжения на 5% соответствует уменьшение светового потока на 18%, а понижение напряжения на 10% вызывает снижение светового потока лампы более чем на 30%.

#### Эксперимент третий. Исследование температурных режимов светодиодов и конденсаторов.

Для этого исследования датчики температуры приклеивались с помощью термопасты непосредственно к светодиодам при снятой колбе (рисунок 6). Затем колба снова устанавливалась на место. Также устанавливались датчики и на электролитические конденсаторы.



Рис. 6. Установка датчика температуры на светодиод

Результаты эксперимента представлены на рисунке 7.

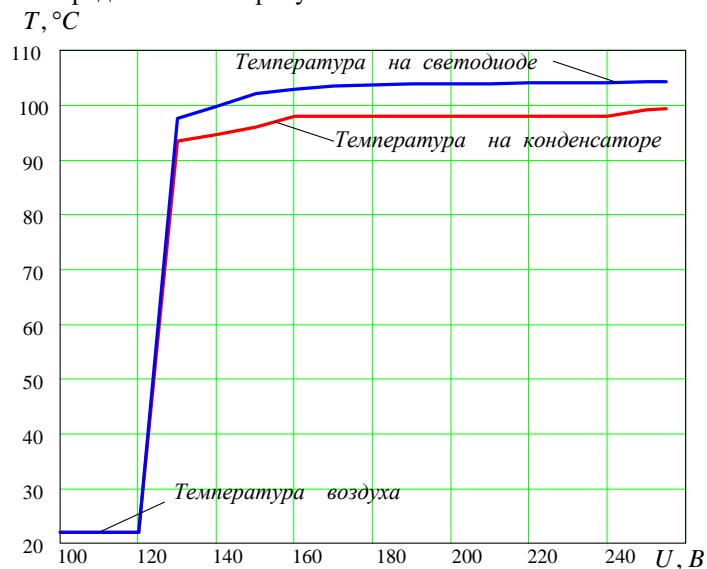


Рис. 7. Зависимость температуры на светодиодах и конденсаторах от подаваемого напряжения

Эксперимент показал, что температура на элементах лампы поддерживается стабильной при изменении подаваемого напряжения в широких пределах (от 160 до 240 В).

Однако величина максимально достигаемой температуры не соответствует оптимальной величине, обеспечивающей долговечную работу лампы. В ходе нашего эксперимента температура на поверхности светодиода в рабочем режиме достигала 104,3 °С при температуре окружающей среды 22,2 °С. Это говорит о том, что светодиоды работают на пределе своих возможностей. Многие специалисты считают, что температура светодиода не должна превышать 80 °С. При превышении этой величины происходит ускоренная деградация светодиода с последующим выходом его из строя.

На корпусе конденсатора производители обычно пишут максимальную температуру, выдерживаемую прибором – плюс 105°С. Это означает, что при такой рабочей температуре конденсатор может работать до отказа 1000 часов. Производители утверждают, что при снижении температуры на 10°С срок службы конденсатора увеличится вдвое. С другой стороны указывается, что превышение допустимой температуры нежелательно и не гарантирует работоспособность конденсатора.

Как выяснилось в проведенном эксперименте, температура на конденсаторах в рабочем режиме приближалась к 100°С, и это при температуре окружающей среды 23,2°С. При температуре окружающей среды 30,0°С рабочая температура конденсатора превысит допустимую.

Таким образом, основной причиной выхода из строя светодиодных ламп является перегрев их элементов, прежде всего светодиодов и электролитических конденсаторов.

А поскольку потребляемая мощность лампы регулируется драйвером, то приходится делать вывод, что перегрев лампы заложен в настройке драйвера. Этот вывод давно уже сделан многими радиолюбителями и специалистами в области светодиодных ламп и светильников. Так в [3] говорится: «Основная проблема – это включение светодиодов в максимальные режимы или даже превышающие их. Причина понятна: производитель сэкономил на количестве или мощности светодиодов. Светодиоды работают в перегрузке и перегреваются, а для светодиода нет хуже, чем перегрев. Светодиод – это, по сути, «вечный» источник света, но его срок службы существенно сокращается по мере повышения температуры его использования. При номинальном режиме качественный фирменный светодиод должен проработать не менее 100000 часов».

Производители настраивают драйверы светодиодных ламп таким образом, чтобы их срок службы превышал гарантийный, но не намного. Если какой-то производитель настроит драйвер таким образом, чтобы лампа работала дольше, то такая лампа при тех же габаритах (и стоимости) будет давать меньший световой поток, чем другая, более дешевая лампа, но работающая на предельном режиме. И несведущий покупатель выберет другую лампу.

Для того, чтобы увеличить срок службы ламп, следует перенастроить драйвер. Так, в [5] перечислены семь типов светодиодных ламп и по каждому даны рекомендации (заменить конденсатор, заменить резистор и т.д.). Однако такую переделку лампы может осуществить только специалист.

Ниже приведены некоторые рекомендации для рядового потребителя, которые помогут продлить срок службы светодиодных ламп.

1. Если есть возможность, то не следует включать лампу на время более 10-15 минут. За это время лампа не успеет нагреться до максимальной температуры (см. рисунок 3).

2. Не устанавливать лампу вертикально колбой вниз, это увеличит её нагрев (см. рисунок 3).

3. Не устанавливать светодиодную лампу в люстре рядом с лампой накаливания. Последняя будет нагревать светодиодную лампу.

4. Следует выключать лампу, как только вы покидаете помещение, хотя бы ненадолго. Выключайте светильники, когда они вам не нужны. Существует ошибочное мнение, будто частые включения и выключения приводят к перегоранию лампы. К светодиодным лампам это не относится. В отличие от ламп накаливания и люминесцентных ламп, количество циклов включения – выключение не оказывает негативного влияния на надежность светодиодных ламп.

5. Если приходится устанавливать светодиодную лампу в закрытый светильник (шар или ему подобный светильник), то целесообразно предварительно снять колбу. Если даже она приклеена к корпусу с помощью герметика, последний легко разрушается обычным шилом. А закрытый светильник и без колбы хорошо рассеивает свет. К тому же при снятии колбы световой поток увеличивается примерно на 20%.

6. При покупке предпочтение отдавать лампам с металлическим радиатором. Если он даже скрыт под слоем пластика, его наличие можно определить по весу лампы: он будет на 30...40 % больше, чем вес других ламп.

7. Если можно сделать выбор между настенным светильником и потолочным, следует отдать предпочтение настенному светильнику. Чем лампа ближе к потолку, тем выше температура окружающей её среды.

8. В корпусах светильников, в которых установлены светодиодные лампы, должны быть вентиляционные отверстия для обеспечения циркуляции воздуха.

**Выводы.** Основной причиной выхода из строя светодиодных ламп бытового назначения является перегрев их элементов, прежде всего светодиодов и электролитических конденсаторов. Такой температурный режим заложен настройкой драйвера, т.е. заложен производителями в конструкцию лампы с целью повышения объема продаж. Для рядовых потребителей нами разработан ряд рекомендаций, позволяющих увеличить срок службы лампы.

### Литература

1. Егоров, П. Как выбрать светодиодные лампы для дома: обзор, характеристики, цены / П. Егоров. – URL: <https://sdelai-lestnicu.ru/obustrojstvo/kak-vybrat-svetodiodnuu-lampu-dla-doma-vidy-i-harakteristiki-tablica-po-mosnosti> (дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.

2. Изучаем устройство светодиодных ламп на 220В. – URL: <https://profazu.ru/svet/light/svetodiodnaya-lampa-220-v.html> (дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.
3. Основные причины выхода из строя промышленных, торговых и уличных светодиодных светильников и основные требования к надежным светильникам. – URL: <https://www.ecolumen.ru/articles/osnovnye-prichiny-vykhoda-iz-stroya-svetodiodnykh-svetilnikov/>(дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.
4. Почему гарантия есть, а сгоревшую светодиодную лампу все равно выкидывают.– URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/59c916af8c8be307b8761727/pochemu-garantiia-est-a-sgorevshuiu-svetodiodnuiu-lampu-vse-ravno-vykidyvaiut-5e4439acd67a627810fee704> (дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.
5. Продление срока службы светодиодных ламп. Понижение тока/ремонт. – URL: <https://radioamator.ru/energoberegayushchie-lampy/svetodiodnye-lampy/1849-prodlenie-sroka-sluzhby-svetodiodnykh-lamp-ponizhenie-toka-remont/> ( дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.
6. Размеры, характеристики и различия светодиодных кристаллов (чипов) 3528, 5050, 2835, 5630, 5730. – URL: [https://diodkmv.ru/info/1512484654\\_svetodiod-4/](https://diodkmv.ru/info/1512484654_svetodiod-4/) (дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.
7. Срок службы светодиодных ламп и светильников: реалии и сказки производителей. – URL: <https://ledjournal.info/byt/srok-sluzhby-svetodiodnyh-lamp-i-svetilnikov.html> (дата обращения 29.07.2020). – Текст: электронный.

#### *Сведения об авторах*

1. **Белов Александр Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения и автоматизации технологических процессов, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Институт агроинженерии, г. Челябинск, пр. Ленина, 75; e-mail: belovav00@mail.ru;
2. **Ильин Юрий Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения и автоматизации технологических процессов, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Институт агроинженерии, г. Челябинск, пр. Ленина, 75; e-mail: U-ilyin@mail.ru.

#### **RESEARCHING THE CAUSES OF FAILURES OF HOUSEHOLD LED LAMPS AND DEVELOPING RECOMMENDATIONS TO INCREASE THEIR LIFETIME**

**A. V. Belov, Yu. P. Ilyin**

*South Ural State Agrarian University (SUSAU), Institute of Agricultural Engineering  
454080, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75*

**Abstract.** *The aim of the research is to identify the causes of failure of LED lamps for household use and develop recommendations for increasing their service life. LED lamps are widely used due to their high luminous efficacy, which saves energy. Thus, a 5 W LED lamp can replace a 40 W incandescent lamp. In addition, the continuous burning life of LED lamps for household use, as usually indicated on their packaging, is at least 30,000 hours, which is 30 times longer than the same indicator for incandescent lamps. However, the lamp life advertised by manufacturers is usually not met. Manufacturers are aware of this, since they have established a warranty period for lamps, as a rule, no more than a year (ie 1000-1500 hours with daily switching on for 3-4 hours). As the analysis has shown, specific elements of lamps, such as LEDs and electrolytic capacitors, fail most often. The main reason for the failure is the high temperature regime, which does not correspond to the optimal operating conditions of these elements. It was revealed that the temperature regime was set by the lamp driver, i.e. is incorporated by manufacturers into the lamp design. This driver customization by manufacturers is driven by the need to maintain sales. A number of recommendations have been developed, the implementation of which allows to increase the service life of LED lamps.*

**Key words:** *LED lamp, driver, electrolytic capacitor, temperature conditions, light output.*

#### **References**

1. Egorov, P. Kak vybrat' svetodiodnye lampy dlya doma: obzor, harakteristiki, ceny / P. Egorov. – URL: <https://sdelai-lestnicu.ru/obustrojstvo/kak-vybrat-svetodiodnuyu-lampu-dla-doma-vidy-i-harakteristiki-tablica-po-mosnosti> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Текст: электронный.
2. Izuchaem ustrojstvo svetodiodnyh lamp na 220V. – URL: <https://profazu.ru/svet/light/svetodiodnaya-lampa-220-v.html> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Текст: электронный.
3. Osnovnye prichiny vyhoda iz stroya promyshlennyh, torgovyh i ulichnyh svetodiodnyh svetil'nikov i osnovnye trebovaniya k nadezhnym svetil'nikam. – URL: <https://www.ecolumen.ru/articles/osnovnye-prichiny-vykhoda-iz-stroya-svetodiodnykh-svetilnikov/>(data obrashcheniya 29.07.2020). – Текст: электронный.
4. Pochemu garantiya est', a sgorevshuyu svetodiodnuyu lampu vse ravno vykidyvayut.– URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/59c916af8c8be307b8761727/pochemu-garantiia-est-a-sgorevshuiu-svetodiodnuiu-lampu-vse-ravno-vykidyvaiut-5e4439acd67a627810fee704> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Текст: электронный.



5. Prodlenie sroka sluzhby svetodiodnyh lamp. Ponizhenie toka/remont. – URL: <https://radioamator.ru/energoberegayushchie-lampy/svetodiodnye-lampy/1849-prodlenie-sroka-sluzhby-svetodiodnykh-lamp-ponizhenie-toka-remont/> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Tekst: elektronnyj.
6. Razmery, harakteristiki i razlichiya svetodiodnyh kristallov (chipov) 3528, 5050, 2835, 5630, 5730. – URL: [https://diodkmv.ru/info/1512484654\\_svetodiod-4/](https://diodkmv.ru/info/1512484654_svetodiod-4/) (data obrashcheniya 29.07.2020). – Tekst: elektronnyj.
7. Srok sluzhby svetodiodnyh lamp i svetil'nikov: realii i skazki proizvoditelej. – URL: <https://ledjournal.info/byt/srok-sluzhby-svetodiodnyh-lamp-i-svetilnikov.html> (data obrashcheniya 29.07.2020). – Tekst: elektronnyj.

#### *Information about authors*

1. **Belov Alexander Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Automation of Technological Processes, South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75; e-mail: belovav00@mail.ru;

2. **Ilyin Yuri Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Automation of Technological Processes, South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75; e-mail: U-ilyin@mail.ru.

УДК 631.3.072.16

DOI: 10.17022/wcup-z368

### **ИСПЫТАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ХМЕЛЕСУШИЛКИ С ОПТИМИЗИРОВАННЫМ ТЕПЛОВЫМ БАЛАНСОМ**

**А. О. Васильев, Р. В. Андреев, Е. П. Алексеев, М. П. Смирнов, В. С. Никитин**

*Чувашский государственный аграрный университет  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** *Основной задачей операции сушки хмелевого сырья является сохранение его товарного вида, а также аромата. Кроме того, необходимо получить максимальное количество компонентов специальных групп горьких веществ и эфирных масел, ради которых шишки хмеля и применяют в пивоваренной промышленности. Для того, чтобы избежать микробиологической и ферментативной порчи хмеля, мы предлагаем во время основной сушки провести продувку специально охлаждённым и осушенным воздухом, в результате чего не только сохраняется качество продукта до основной сушки, но и значительно быстрее происходит сам процесс сушки при пониженных значениях температур. В данной работе рассматривается возможность применения тепловых насосов для энергоэффективной сушки хмеля путём их интеграции в конструкцию традиционной сушилки. Идея энергоэффективной сушки хмеля заключается в том, что агент сушки (атмосферный воздух) прогоняется вентилятором через испаритель теплового насоса, охлаждается до температуры точки росы, вследствие чего влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется, а воздух высушивается. Преимущество предлагаемого способа сушки заключается в том, что контакт хмеля с охлаждённым воздухом инактивирует деятельность комплекса ферментов и патогенной микрофлоры, которая возникает в случае избыточного увлажнения сырья. Охлаждение хмеля позволит сохранить его химический состав в неизменном состоянии, в особенности  $\alpha$ - и  $\beta$ -кислоты, являющиеся ключевыми компонентами хмеля. С учетом необходимости создания нового режима работы в условиях сушки хмеля на экспериментальной малогабаритной сушилке в данной статье было проанализировано соотношение между температурой и влажностью хмелевого сырья в процессе сушки при различных значениях скорости и содержания влаги агента сушки. Это позволило выявить оптимальные для данной сушилки параметры рабочего процесса, а также рекомендовать новую технологию сушки, усовершенствованную конструкцию сушилок.*

**Ключевые слова:** *хмель, сушка, хмелеводство, тепловой баланс.*

**Введение.** *Основной задачей операции сушки и последующего кондиционирования хмелевого сырья является сохранение его главных потребительских качеств: товарного вида, а также аромата. Кроме того, необходимо получить максимальное количество компонентов специальных групп горьких веществ и эфирных масел, ради которых шишки хмеля и применяют в пивоваренной промышленности [7]. Качественно просушенный хмель сохраняет природный аромат и цвет. Процесс сушки должен осуществляться непосредственно после сбора, так как сырой хмель достаточно быстро начинает портиться [2]. Для того, чтобы избежать микробиологической и ферментативной порчи хмеля, мы предлагаем во время основной сушки провести продувку специально охлаждённым и осушенным воздухом, в результате чего не только сохраняется качество продукта до основной сушки, но и значительно быстрее происходит его высушивание, даже при пониженных значениях температур.*