

**СУРАЙКИН А. И., СОРОКИН А. Е., КУРНАЕВ В. В., СУРАЙКИН А. А.**  
**МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**  
**ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВЕТОДИОДНОМ ОСВЕЩЕНИИ**

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследования в области разработки малогабаритных импульсных источников питания для применения в светодиодных светильниках. Рассматриваются варианты построения принципиальных схем малогабаритного светодиодного светильника.

**Ключевые слова:** импульсный источник питания, светодиодный светильник, интегральная схема.

**SURAYKIN A. I., SOROKIN A. E., KURNAEV V. V., SURAYKIN A. A.**  
**SMALL SWITCHING POWER SUPPLIES FOR LED LAMPS**

**Abstract.** The article discusses the research results of design capability of small switching power supply for LED lamps. Options for constructing schematic diagrams of a small-sized led lamp are considered.

**Key words:** switching power supply, LED lamp, integrated circuits.

Одной из основных задач разработки устройств управления светодиодными светильниками, является задача разработки и внедрения малогабаритных импульсных источников питания (ИИП). Если мы имеем дело с малогабаритными светодиодными светильниками, то для получения светового потока в 1200 лм, аналогичного потоку лампы накаливания мощностью 100 Вт, необходимо управлять 12-14 светодиодами, мощностью не менее 1 Вт с номинальной светоотдачей не ниже 100 лм/Вт при рабочем токе 350 мА [1].

При разработке малогабаритных светодиодных светильников возникает проблема отвода тепла, выделяющегося в малом объёме, так как перегрев светодиодов нежелателен. Источником тепла в светодиодном светильнике, кроме самих светодиодов является и сам источник питания. В этом смысле, к ИИП предъявляются жёсткие требования:

- изоляция светодиодов от корпуса светильника,
- при необходимости гальваническая изоляция светодиодов от схемы управления,
- высокий КПД,
- малые габариты, обеспечивающие возможность встраивания в корпус светильника,
- низкая себестоимость в массовом производстве.

На сегодняшний день, в качестве ИИП светодиодных светильников в основном используются импульсные источники питания (ИИП) [2].

В связи с тем, что реализация современного высокоэффективного, конкурентоспособного

ИИП невозможна без применения ИС, то важен выбор наиболее перспективных микросхем.

Практически все ведущие фирмы-производители электронной компонентной базы (ЭКБ) выпускают управляющие ИС для импульсных источников питания. Номенклатура таких ИС огромна и выбор, как правило, связан с определением отношения – цена/требуемые характеристики. В этой связи интерес представляет, например такая ИС, как LM3445 [3, 4]. Эту ИС выпускают две известные фирмы – National Semiconductor и Texas Instruments (США). Кроме этой ИС, при реализации высокоэффективного ИИП может быть применена такая ИС как TPS92010 (Texas Instruments). Данные ИС мало известны в России и информацию по их характеристикам, и применению сложно найти в отечественной литературе. Как было выяснено, ИС LM3445 [5] обладает весьма широким набором функций, позволяющим гибко реализовывать различные ИИП для большинства светодиодных светильников бытового и промышленного назначения, также для сферы ЖКХ.

Основным отличием микросхемы LM3445 от предыдущих версий является наличие функции плавного управления интенсивностью светового потока с помощью стандартного внешнего диммера с ШИМ. В отличие от LM3445, ИС TPS92010 работает с внешним детектором диммирования.

ИС LM3445 имеет следующие основные характеристики:

- работа с диммированным переменным сигналом источника питания,
- рабочий диапазон напряжения питания от 6,0 до 8,0 В,
- рабочий ток управления светодиодами более 1 А,
- настраиваемая частота ШИМ,
- адаптивная настройка времени выключенного состояния (паузы сигнала ШИМ), обеспечивающая постоянный уровень пульсаций,
- ток питания (в состоянии покоя) не более 3 мА,
- возможность построения УП с гальванической изоляцией нагрузки и без гальванической изоляции,
- стабильный КПД практически во всём диапазоне рабочего напряжения питания,
- наличие тепловой защиты.

Принципиальная электрическая схема ИИП на основе ИС LM3445, выполненного согласно схеме понижающего преобразователя без гальванической изоляции нагрузки представлена на рис. 1.

С учётом специфики работы импульсных источников питания с ШИМ, можно произвести расчёт режимов работы ИС LM3445, а также ряда её внешних навесных компонентов [6].

В качестве исходных данных для расчёта параметров малогабаритного светодиодного

светильника, выберем следующие:

1. Диапазон напряжения питания: 90 – 250 В (переменное),
2. Число последовательно включенных светодиодов: 7,
- 3 Прямое падение напряжения на одном светодиоде: 3,6 В,
- 4 Полное падение напряжения на светодиодах:  $U_{LED}=7 \times 3,6=25,2 \text{ В}$ .

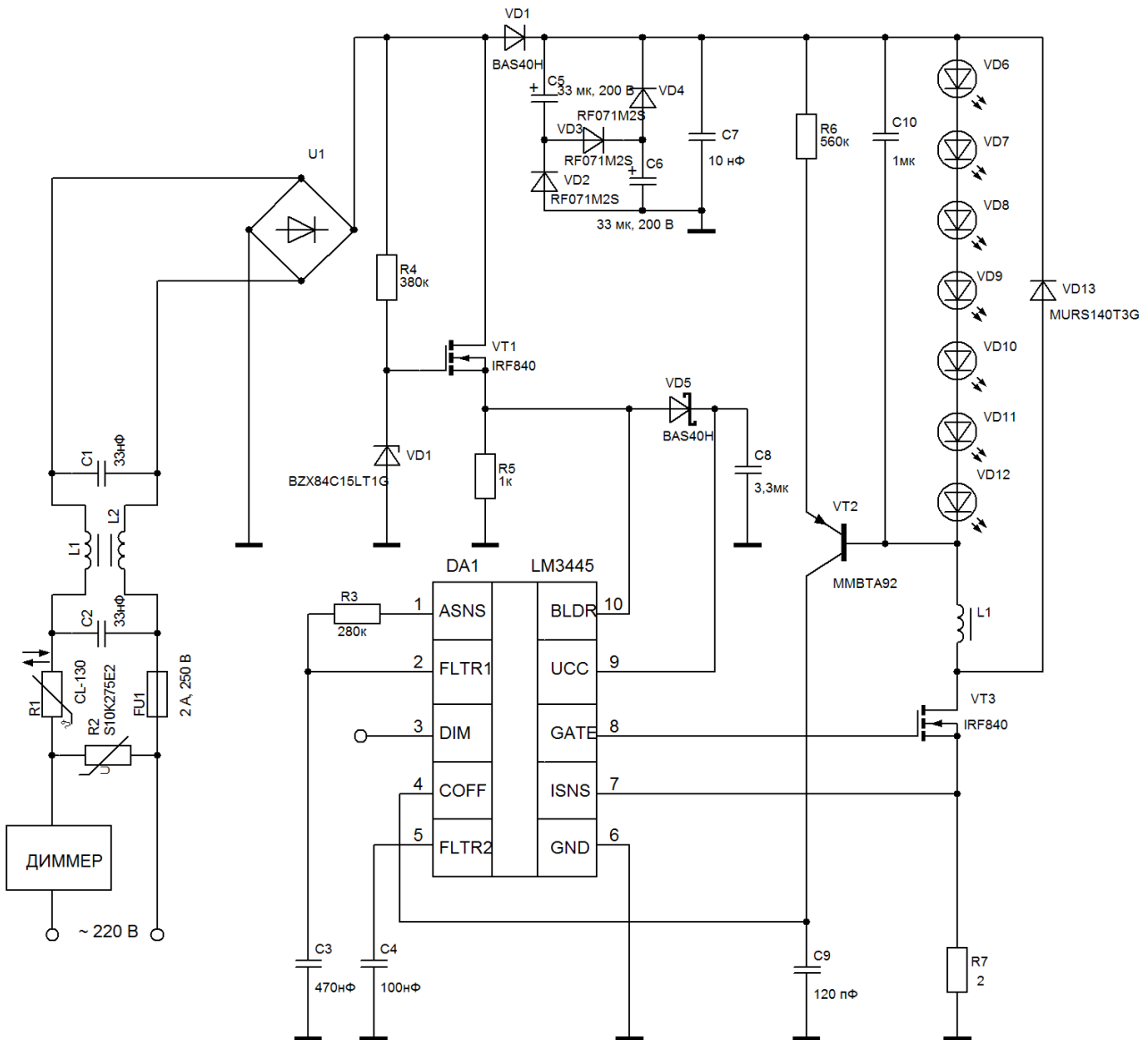


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная ИИП малогабаритного светодиодного светильника без гальванической изоляции нагрузки

Начальный режим работы ИС LM3445:

- 1 Номинальная частота работы ШИМ:  $f_{sw}=250 \text{ кГц}$ ,
- 2 Номинальный рабочий ток светодиодов:  $I_{LED(AVE)}=350 \text{ мА}$ ,
- 3 Изменение тока светодиодов при изменении напряжения питания (обычно от 15 % до

30 % относительно  $I_{LED(AVE)}$ ):  $\Delta i = 0,3 \times 350 = 105$  мА,

4 Число каскадов корректора фазы выберем  $N_{PFC} = 2$ ,

5 Минимальное значение КПД: 80 %.

Согласно ранее полученным данным [7], время выключенного состояния транзистора VT3 при номинальном значении напряжения  $U_{IN}$ :

$$t_{OFF} = \frac{1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}}{f_{SW}}. \quad (1)$$

Подставляя известные значения [4, 5] в (1), получим:

$$t_{OFF} = \frac{1 - \frac{1}{0,8} \cdot \frac{25,2}{220 \cdot \sqrt{2}}}{250 \text{кГц}} = 0,0036 \text{мс} = 3,6 \text{мкс}. \quad (2)$$

Формула для расчёта времени включенного состояния транзистора VT3 (минимальная длительность импульса ШИМ):

$$t_{ON} = \frac{\frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}}{f_{SW}}. \quad (3)$$

Подставляя в (3) численные данные, получим:

$$t_{ON} = \frac{\frac{1}{0,8} \cdot \frac{25,2}{220 \cdot \sqrt{2}}}{250 \text{кГц}} = 0,0004 \text{мс} = 0,4 \text{мкс}. \quad (4)$$

Минимальная длительность импульса  $t_{ON(MIN)}$  вычисляется подстановкой в (4) максимального значения выпрямленного напряжения питания  $U_{IN(MAX)}$ . Проводя вычисления, аналогичные (4), получим  $t_{ON(MIN)} = 0,25$  мкс, что не выходит за пределы линейной работы ШИМ ИС LM3445 ( $t_{ON(MIN)} > 0,2$  мкс).

Для расчёта параметров дросселя  $L1$ , воспользуемся известными соотношениями, связывающими ток и напряжение на индуктивности [8]. В приближении линейного изменения тока дросселя  $L1$  (рис. 2), напряжение на светодиодах при закрытом транзисторе VT3 выразим в виде (5).

$$U_{LED} = L1 \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (5)$$

где  $\Delta i$  – изменение тока дросселя.

Производя перегруппировку в (5) и выражая оттуда  $L1$ , подставляя в (5) соотношение

(2) для  $t_{OFF}$ , получим соотношение для индуктивности дросселя  $L1$ :

$$L1 = \frac{U_{LED} \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}\right)}{f_{SW} \cdot \Delta i} \quad (6)$$

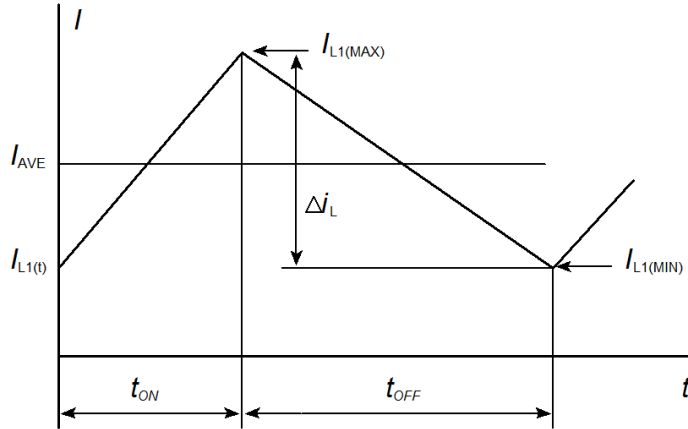


Рис. 2. Форма тока, протекающего через дроссель  $L1$

Подставляя в (6) значения известных и рассчитанных ранее данных, получим  $L1 \approx 860$  мкГ.

Если выбрать ток коллектора транзистора  $VT2$  не более  $I_C = 50$  мкА, то может быть вычислена величина резистора  $R6$ :

$$R6 = U_{LED} / I_C = 25,2 / 0,05 = 504 \text{ к. Выберем } R6 = 560 \text{ к.}$$

Каскад на транзисторе  $VT2$  выполняет функцию защиты ИС и мощного МОП-транзистора в случае короткого замыкания цепи светодиодов. Для задания времени включения защиты ИС (выключения ИС), необходимо рассчитать величину конденсатора  $C9$ . Следует отметить, что время выключения ИС должно превышать время  $t_{OFF}$ . Величина конденсатора  $C9$  может быть рассчитана из соотношения:

$$C9 = \frac{t_{OFF} \cdot U_{LED}}{U_{REF} \cdot R6} \quad (7)$$

где  $U_{REF}$  это внутреннее опорное напряжение ИС LM3445, равное  $U_{REF} = 1,276$  В.

Подставляя в (7) значения всех переменных, получим  $C9 = 127$  пФ, или округляя, выберем  $C9 = 120$  пФ.

Для обеспечения требуемого значения коэффициента мощности, в ИИП присутствует пассивный корректор фазы (элементы  $C5$ ,  $C6$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ ,  $VD4$ ). Заметим, что высокое

значение коэффициента мощности в ИИП данного светодиодного светильника не требуется, так как его потребляемая мощность не превышает 9 Вт (коэффициент мощности более 0,8 требуется, как правило, в устройствах светодиодного освещения, мощностью более 25 Вт). Но, тем не менее, в данной схеме ИИП корректор фазы присутствует и обеспечивает коэффициент мощности 0,87. Расчёт элементов схемы пассивного корректора фазы произведён согласно данным, приведённым в [6, 7].

Принципиальная электрическая схема ИИП на основе ИС TPS92010, выполненного согласно схеме понижающего преобразователя с гальванической изоляцией нагрузки представлена на рисунке 3 [9]. В схеме применён внешний детектор диммирования и блок установки опорного напряжения. Этот ИИП построен по стандартной обратноточковой (flyback) схеме, наиболее эффективной в низком диапазоне мощностей [10]. Использование одного трансформатора, высоковольтного (500...600 В) MOSFET-транзистора и одного диода на выходе является в данном применении относительно недорогой конфигурацией [11].

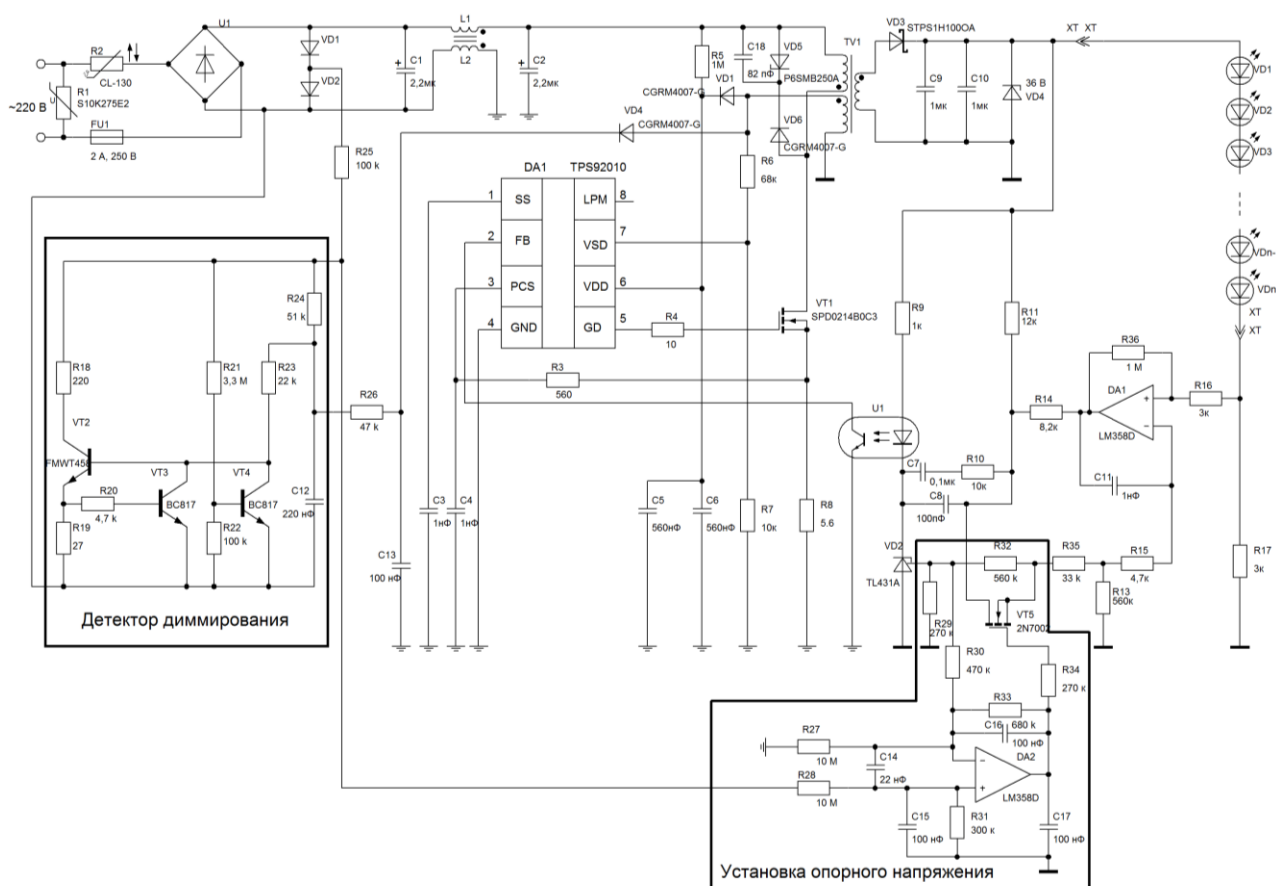


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная ИИП малогабаритного светодиодного светильника с гальванической изоляцией нагрузки

Входной фильтр базируется на стандартном дросселе и двух конденсаторах,

обеспечивая разработку соответствия классу «В» по электромагнитной совместимости в соответствии со стандартом *FCC*. Ток нагрузки измеряется на резисторе *R17*. Его уровень усиливается усилителем на микросхеме *DA1* и подается на вывод 3 микросхемы *TPS92010* через оптопару. В соответствии с этим сигналом ИС *TPS92010* осуществляет управление работой транзистора *VT1*. Цепь контроля димминга состоит из двух частей: триггер (транзисторы *VT2*, *VT3*), детектирующий диммирование во входной цепи, и усилитель (*VT4*), корректирующий отпирающее напряжение для уменьшения тока через светодиоды при работе диммера [12]. Здесь следует отметить, что диммирование как функция и, соответственно, диммер как устройство могут быть использованы при необходимости, обусловленной требованиями уменьшения тока питания светодиодов [13]. Это, в свою очередь, может быть вызвано требованием постоянной работы светодиодного светильника, который в ночное время может быть переведён в экономичный режим с меньшей светоотдачей (уменьшенным током нагрузки). В этой связи диммеры, как устройства можно рассматривать как дополнительные опции, применяемые при необходимости их применения.

Таким образом, в данной статье представлены результаты исследования ИИП, выполненные на двух ИС: *LM3445* и *TPS92010*. Выбор данных ИС для разработки ИИП обусловлен тем, что они позволяют разрабатывать относительно простые, но высокоэффективные импульсные источники питания. Алгоритмы работы управляющих ИС *LM3445* и *TPS92010* позволяют в широких пределах выбирать схемотехническое построение ИИП, выходящее далеко за пределы схемотехнических решений, приведённых в справочной информации на вышеуказанные ИС. Экономичные и, вместе с тем, высокоэффективные ИИП могут быть применены в малогабаритных светодиодных светильниках как бытового, так и промышленного назначения, включая сферу ЖКХ.

Особенностью ИИП на базе ИС *LM3445* и *TPS92010* является и то, что некоторые функции, например диммирование, могут быть реализованы как дополнительные опции ИИП. Это позволяет разрабатывать и изготавливать ряд ИИП с разными ценовыми показателями, а устройства, реализующие дополнительные опции могут изготавливаться отдельно и поставляться потребителям в соответствии с их требованиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов С. Особенности построения источников питания для светодиодного оборудования. // Современная светотехника. – 2011. – № 2 (09). – С. 5–8.
2. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер. с англ. – К. : «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2008. – 256 с.
3. Техническая инф. по ИС *LM3445*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[www.national.com/LM3445](http://www.national.com/LM3445) Triac Dimmable Offline LED Driver.

4. Техническая инф. по ИС LM3445. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ti.com/LM3445](http://www.ti.com/LM3445) Triac Dimmable Offline LED Driver.
5. Криночкин Р., Барабан С. Расширение линейки драйверов светодиодов от Texas Instruments: теперь и LM3444/LM3445/LM3448. // Новости электроники. Информационно-технический журнал. – 2012.– № 1 (103). – С. 18–22.
6. Сурайкин А. И., Сеськин М. В. Разработка малогабаритного устройства питания светодиодов. // XLVII Огарёвские чтения. Материалы научной конференции. В 3-х частях. Составитель А. В. Столяров. Ответственный за выпуск П. В. Сенин. 2019. – С. 84–91.
7. Сурайкин А. И. Устройство питания для светодиодных ламп. // Электроника и информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 11.
8. Корис Р. Ю Шмидт-Вальтер Х. Справочник инженера-схемотехника. М. : Техносфера, 2006. – 608 с.
9. Тарасов Д., Титков С. Применение индуктивно-емкостной гальванической развязки. // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 25–31.
10. Техническая инф. по ИС TPS92010. [Электронный ресурс]. – URL: [www.ti.com/lit/ug/sl00430c/sl00430c.pdf](http://www.ti.com/lit/ug/sl00430c/sl00430c.pdf)/ Using the TPS92010EVM-631 (дата обращения: 03.09.2020).
11. Сурайкин А. И., Курынов Б. В. Разработка устройства питания светодиодных светильников с функцией регулирования тока нагрузки. // XLVII Огарёвские чтения. Материалы научной конференции. В 3-х частях. – Саранск, 2019. – С. 76–84.
12. Терехов Г. Димминг – способ эффективного энергосбережения или источник реальных проблем? // Современная светотехника. – 2011. – № 2 (09). – С. 11–13.
13. Курынов Б. В., Сеськин М. В., Сорокин А. Е., Сурайкин А. И. Устройство питания светодиодных светильников с функцией диммирования. // Материалы XXII научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва. Материалы конференции. В 3-х частях. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2019. – С. 73–79.