

УДК 004.3 +628.9:621.327.2:51-7

**СОЗДАНИЕ, ТЕСТИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП:
АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
И РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ**

Статья поступила в редакцию 14.10.2017, в окончательном варианте – 11.02.2018.

Коваленко Ольга Юрьевна, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 430005, Российская Федерация, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68

доктор технических наук, профессор, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=691536;
e-mail: crystall2000@mail.ru

Пильщикова Юлия Алексеевна, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 430005, Российская Федерация, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68

кандидат технических наук, доцент, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=820954;
e-mail: ulypil@mail.ru

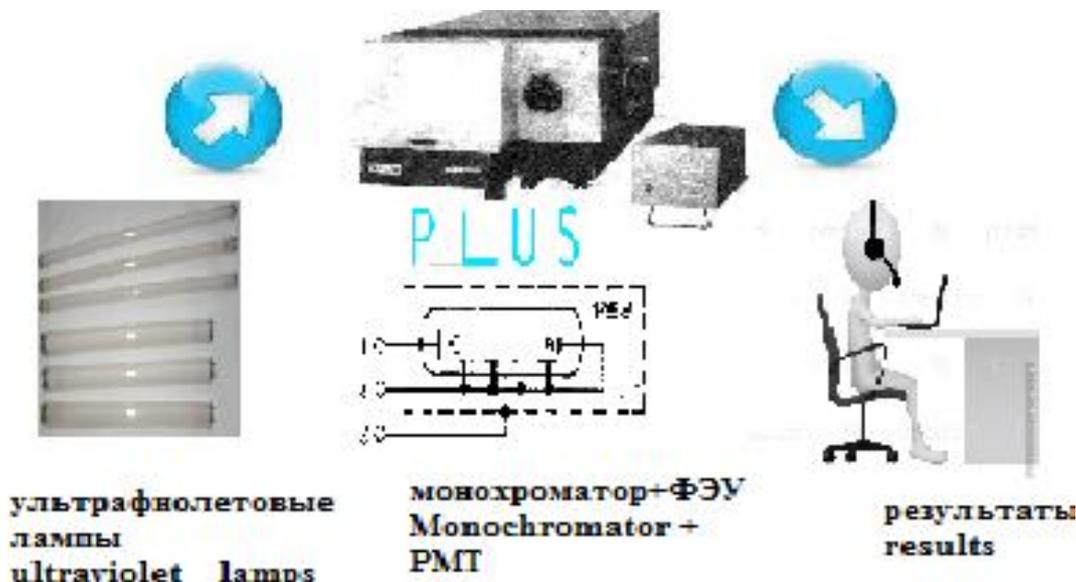
Идрисова Евгения Дмитриевна, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 430005, Российская Федерация, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68

аспирант, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=753424; e-mail: genyai@rambler.ru

Рассмотрены возможные направления применения математических методов (ММ) для обоснования выбора целесообразных решений, связанных с разработкой, исследованием, тестированием и применением люминесцентных ламп ультрафиолетового излучения (ЛЛУФИ). Проанализированы возможные математические модели, позволяющие обосновать предпочтительность применения ЛЛУФИ по сравнению с другими источниками УФ-излучения. Приведены использованные для производства ЛЛУФИ технологические решения. Оценена результативность использованных авторами методов корректировки спектров излучения газоразрядных ЛЛУФИ – для повышения мощности УФ-излучения таких ламп. Описаны технические средства и методики исследования изготовленных партий экспериментальных ЛЛУФИ. Охарактеризованы особенности применения ММ для обработки первичных результатов экспериментальных исследований, включая методы регрессионного и дисперсионного анализа. Полученные при использовании этих видов анализа итоговые результаты приведены в табличном и графическом виде. Кроме того, указаны некоторые дополнительные возможности применения ММ для рассматриваемой предметной области. В целом полученные результаты подтверждают адекватность использования ММ, примененных авторами; перспективность использования увиолевых стекол в ЛЛУФИ.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, излучающее устройство, технологии изготовления, энергетический поток, люминофор, удельная нагрузка, облученность, облучение, измерение потока, экспериментальная установка, математическое описание, дисперсионный анализ, регрессия

Графическая аннотация (Graphical annotation)



ANALYSIS OF SOME TRENDS OF THE MATHEMATICAL METHODS APPLICATION TO SUPPORT DECISIONS MAKING AND IMPLEMENTATION IN THE CREATION, TESTING AND USE OF ULTRAVIOLET LUMINESCENT LAMPS

Article was received by editorial board on 14.10.2017, in the final version – 13.02.2018.

Kovalenko Olga Yu., National Research Ogarev Mordovia State University, 68 Bolshevistskaya St., Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

Doct. Sc. (Engineering), https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=691536; e-mail: crystall2000@mail.ru

Pilshchikova Yuliya A., National Research Ogarev Mordovia State University, 68 Bolshevistskaya St., Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

Cand. Sci (Engineering), https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=820954; e-mail: ulypil@mail.ru

Guseva Evgeniya D., National Research Ogarev Mordovia State University, 68 Bolshevistskaya St., Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

post-graduate student, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=753424; e-mail: genyai@rambler.ru

The article considers possible trends of mathematical methods (MM) application to validate viable decisions connected with development, research and application of fluorescent lamps of ultraviolet radiation (FLUVR) are considered. It also analyses possible mathematical models, which allow substantiating the preferability of using FLUVR compared to other sources of UV radiation. The authors dwell on technological solutions employed to produce FLUVR and assess the effectiveness of the methods used for correcting the emission spectra of gas-discharge FLUVR to increase their power of UV radiation. The article describes technical means and methods for studying the manufactured lots of experimental FLUVR. Moreover, the authors characterize the peculiarities of the application of mathematical methods for processing primary results of experimental studies (including methods of regression and variance analysis). The obtained results appear in tabular and graphical form. The paper also indicates some additional possibilities of using MM for the subject domain. On the whole, the obtained results confirm the potential of the solutions to use the proposed types of glasses in FLUVR, as well as the adequacy of the MM used in the article.

Keywords: ultraviolet radiation, emitting device, manufacturing techniques, energy flow, phosphor, specific load, exposure, irradiation, flow measurement, experimental setup, mathematical description, variance analysis, regression

Введение. Искусственное освещение различных видов объектов является актуальной задачей, требующей адекватного обоснования соответствующих разработок, организации их промышленного производства, применения на различных видах объектов, проведения утилизации использованных изделий [22]. Одним из направлений развития светотехники является разработка, выпуск (производство), использование люминесцентных ламп ультрафиолетового излучения (ЛЛУФИ), а также технологий утилизации отработавших свой срок изделий. Обоснованное принятие решений в данной предметной области требует использования соответствующих математических методов (ММ). Однако часть соответствующих вопросов в существующей литературе отражена в недостаточной степени. Поэтому в данной статье ставились следующие цели: проведение анализа целесообразных направлений применения ММ в отношении разработки, исследования и использования ЛЛУФИ (с учетом технологических и эксплуатационных особенностей этого типа источников освещения); выполнение оценки результативности замены марки стекол в ЛЛУФИ с целью увеличения мощности ультрафиолетового излучения для облучения сельскохозяйственных животных и решения некоторых иных задач; разработка метода оптимизации выбора источника освещения с учетом затрат на производство, эксплуатацию и утилизацию изделий.

Общая характеристика предметной области. В общем случае ЛЛУФИ (или эритемные ультрафиолетовые люминесцентные лампы) могут использоваться для различных целей, включая облучение людей и сельскохозяйственных животных (при недостатке ультрафиолета в естественном освещении, при длительном пребывании в помещениях с искусственным освещением и пр.); для обеззараживания воздуха (например, в медицинских учреждениях, при выпуске некоторых изделий медицинского назначения) и пр.

В настоящее время люминесцентные лампы «конкурируют» в отношении их применения со светодиодными источниками освещения (СИО). Причем такая конкуренция в большей степени наблюдается для видимого диапазона излучения, чем для УФ-диапазона.

Преимущества люминесцентных ламп (ЛЛ): хорошая отработанность (освоенность) технологий выпуска ЛЛ дневного света; возможность корректировки спектра излучения за счет использования различных люминофоров (а также комбинирования в светильниках ламп с разными видами люминофоров); высокая (по сравнению с лампами накаливания) средняя продолжительность работы (порядка 5000 часов) – однако многие типы СИО сейчас имеют примерно аналогичную продолжительность работы; экономичность эксплуатации (малое энергопотребление) – однако для СИО величины энергопотребления сейчас также невелики; наличие распределенного в пространстве источника свечения, не «ослепляющего» органы зрения; равномерность освещения в различных направлениях; отсутствие необходимости применения дополнительных светорассеивателей (в светильниках использующих малоразмерные светодиоды они нередко используются) [17]. Основной недостаток ЛЛ: вышедшие из строя лампы подлежат

специальной утилизации, поскольку в каждой лампе имеется то или иное количество металлической ртути. При механическом разрушении лампы ртуть освобождается и загрязняет окружающее пространство (воздух, почву), что опасно для здоровья людей [9].

Основным режимом использования ЛЛ является их горение в течение достаточно длительных промежутков времени. Поэтому их надежность оценивается именно в часах эксплуатации, а не по количеству включений и выключений.

В общем случае включение и выключение ЛЛ может осуществляться двояко: по предопределенным «временным графикам»; по сигналам с датчиков освещенности в помещениях – если искусственное освещение используется в комбинации с естественным [23].

Таким образом, в ММ оптимального выбора источников излучения для освещения конкретного объекта необходимо специально предусматривать затраты на утилизацию, которые в случае ртутных ламп могут быть достаточно значительными.

Обеспечение УФ-излучения в ЛЛ может быть достигнуто за счет двух видов решений: применения соответствующего люминофора; использование специального (увиолевого) стекла, которое обеспечивает минимальное поглощение УФ-излучения. Таким образом, ЛЛУФИ в общем случае будут иметь повышенную себестоимость изготовления по сравнению с обычными ЛЛ дневного света по следующим причинам: применение специального типа стекла; малый характер выпускаемых партий ЛЛ.

Типичным является подразделение УФ-излучения на три области: УФА (с длиной волны 400-315 нм), УФВ (315-280 нм), УФС (280-100 нм). При этом принято выделять два направления действия УФ-излучения: эритемное (соответствует УФВ) и бактерицидное (соответствует УФС).

При содержании в помещениях таких животных как коровы, свиньи, куры и пр. целесообразно применять источники света, имеющие как эритемное воздействие, так и бактерицидное. Эритемное воздействие обеспечивает восполнение недостатка УФ-компоненты спектра естественного солнечного освещения, а бактерицидное – для снижения обсемененности помещений бактериальной флорой (это особенно важно при плотном расположении животных в помещениях).

Обогащение спектра излучения УФ-компонентой может быть полезным также и в некоторых других случаях: при выращивании отдельных видов растений, в т.ч. в теплицах (в закрытом грунте); при освещении некоторых типов помещений в медицинских учреждениях [13] – в т.ч. применение автоматического управления таким освещением с учетом интенсивности естественного света вне помещений и его спектрального состава [19]; для привлечения кровососущих насекомых к ловушкам с использованием света определенного спектрального состава (однако, для решения этой задачи ЛЛУФИ подходят не очень хорошо, т.к. спектр их излучения достаточно «широкополосный»); для привлечения насекомых на отражение света от поверхности рыбоводных прудов (при этом насекомые попадают в пруды, что позволяет уменьшить расходы на комбикорм для питания рыб); для привлечения естественных врагов кровососущих насекомых с целью уничтожения последних – например, для привлечения некоторых видов стрекоз [12] – с тем же замечанием в отношении «широкополосности» спектра ЛЛУФИ.

Отметим, что потенциально ЛЛУФИ могут использоваться и в рамках технологий «умного дома» [5]. Обычно под этим термином понимаются места пребывания (а чаще даже проживания людей), но они могут быть использованы и для более широкого класса объектов.

Чем больше мощность излучения, тем меньше необходимая доза (время) облучения. За счет этого может обеспечиваться экономия электроэнергии, а также увеличиваться суммарная продолжительность использования ЛЛ в годах (исходя из того, что в каждом из лет ЛЛ будет использоваться меньшее время).

Для расширения функциональных направлений использования газоразрядных ламп была рассмотрена возможность корректировки спектра ЛЛУФИ в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60335-2-27-2000 и ГОСТ 60335-2-27-2009, в которых спектр эритемного действия был распространен на диапазон коротких длин волн с максимальными значениями от 240 до 297 нм [5] (это соответствует частичному «захвату» области УФС). В связи с изменением подхода к определению эффективности эритемных ЛЛУФИ появились дополнительные возможности их совершенствования. Описываемая далее работа проводилась коллективом сотрудников НИИИС им. А.Н. Лодыгина и ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» (г. Саранск) [8].

Основной практической целью данной работы являлась оценка результативности замены марки стеклок в ЛЛУФИ с целью увеличения мощности ультрафиолетового излучения – в т.ч. для облучения сельскохозяйственных животных [6], содержащихся в закрытых помещениях. Однако такая замена требует адекватного планирования и проведения экспериментальных исследований, использования для этих целей ММ.

Как ясно из вышеизложенного, целесообразно, увеличение мощности излучения ЛЛУФИ в коротковолновой части, соответствующей ближнему ультрафиолету. При умеренной дозе поглощенного излучения это благоприятно сказывается, например, на развитии сельскохозяйственных животных, содержащихся в закрытых помещениях. Кроме того, это позволит использовать такие ЛЛУФИ одновременно и как бактерицидные, и как эритемные. Однако изменение состава люминофора без изменения сорта стекол не приводит к должному результату, т.к. обычные стекла сильно поглощают УФ-излучение.

Отечественными учеными, такими как И.А. Ламкин, Е.А. Менькович, С.А. Тарасов, Л.Ю. Юферов, Л.К. Алферова и др. [10, 24, 25], ранее уже были проведены исследования по применению УФ-источников света, изучен их спектральный состав, технология получения излучения. Для практического применения в сельскохозяйственном животноводстве ЛЛУФ с увеличенными значениями потоков излучения при той же потребляемой мощности являются весьма перспективными в различных облучательных установках, которые были описаны в работах [14–16]. При этом нами было установлено, что соотношение потоков излучения, пропорциональных энергетическим облученностям, $\Phi_{УФС} : \Phi_{УФВ} = 1:3$ является оптимальным для облучения сельскохозяйственных животных при небольшой дозе облучения. При этом использование $\Phi_{УФВ}$ в лампах типа ЛЭБ 15 и ЛЭБ 13 с удельной нагрузкой люминофора соответственно $2,63 \text{ мг/см}^2$ и $1,88 \text{ мг/см}^2$, более чем в 1,5 раза увеличивается эффективный поток излучения в области УФВ, определенный в соответствии с функцией относительной спектральной эритемной эффективности. Это показывает перспективность выбранного направления исследований и разработок в отношении ЛЛУФ.

Математическая модель для технико-экономического обоснования выбора источников освещения. В общем случае величину рентабельность покупки, эксплуатации и утилизации источника освещения (ИО) можно описать с помощью ММ вида

$$R = 100\% \left(-Z_B + \left(\sum_{i=1}^I (P_i - Z_i^*) D_i \right) - Z_U D_U \right) / \left(D_U + \sum_{i=1}^I D_i Z_i^* \right), \quad (1)$$

где Z_B – затраты на приобретение ИО, его монтаж (в «продажные» стоимости ИО обычно включены и расходы на их разработку, производство, тестирование); I – количество лет эксплуатации ИО; P_i – суммарный положительный эффект от эксплуатации ИО в i -ом году (он относится к сельскохозяйственным животным); Z_i^* – затраты на эксплуатацию ИО в i -ом году; D_i – коэффициент дисконтирования для i -ого года (он общий для затрат и «положительных эффектов»); Z_U – затраты на утилизацию ИО после окончания эксплуатации; D_U – коэффициент дисконтирования для момента времени, соответствующего утилизации ИО.

Оптимизация варианта выбора ИО соответствует получению максимума критерия « R ».

В эту модель целесообразно также включить ряд ограничений, в т.ч. связанных с минимально допустимым значением « I »; максимально допустимой величиной « Z_B » и др. При этом необходимо понимать, что, по крайней мере, коэффициенты дисконтирования и положительные эффекты в (1) могут быть оценены лишь приближенно.

Отметим, что модель, соответствующая формуле (1) не учитывает некоторых факторов: возможность разгерметизации ЛЛУФВ в процессе ее эксплуатации (в т.ч. и за счет случайного механического воздействия); потенциальную возможность влияния УФ-излучения на персонал, обслуживающий сельскохозяйственных животных, содержащихся в помещениях и др.

Увеличение срока эксплуатации ИО обеспечивает рост второго члена в числителе формулы. Таким образом использование ЛЛУФ позволяет повысить величины $\{P_i\}_{i=1...I}$ в формуле Тем самым становятся оправданными большие (по сравнению с обычными люминесцентными лампами) стоимости приобретения таких ЛЛУФ, связанные с более высокими себестоимостями их производства.

Обобщение полученной модели может быть связано с возможностью комбинированного использования обычных ИО и основанных на использовании ЛЛУФИ. При этом появляется дополнительная задача оптимального выбора сочетаний количеств ИО этих двух типов, а также режимов их эксплуатации.

Изготовление опытных партий ультрафиолетовых люминесцентных ламп. При планировании производства партии экспериментальных ламп были учтены следующие параметры: ожидаемый процент выхода годных изделий – по аналогии с производством обычных ЛЛ; ожидаемые величины вариативности светотехнических параметров (также по аналогии с обычными ЛЛ). С учетом предварительных оценок этих параметров на основе ММ было определено следующее: количество ЛЛУФИ, которые необходимо исследовать (для обеспечения максимально допустимых относительных ошибок по всем изучаемым параметрам); после этого размер производимой партии ламп (с учетом возможности брака при производстве); продолжительность проведения светотехнических измерений (с учетом возможности изменения характеристик излучения со временем); требования к стабильности напряжения питания ламп, используемых в эксперименте.

С учетом выполненных оценок этих параметров в НИИС им. А.Н Лодыгина (г. Саранск) были изготовлены партии ламп в колбах из бактерицидного увиолевого стекла марки РН160 фирмы «Philips», пропускающем свыше 80 % ультрафиолетового излучения в области УФС (280-100 нм) с длиной волны 254 нм.

Стекло марки РН160 имеет высокий коэффициент пропускания не только в области «УФВ», но и в области «УФС» (для линии 253,7 нм не менее 85 %, что на 34 % выше, чем у стекла марки СЛ-97-2 и более 90 % для области УФВ, что на 11 % выше, чем у стекла марки СЛ-97-2) [12].

Исследованные опытные партии ламп мощностью 15 Вт в трубках диаметром 26 мм (Т8) и мощностью 13 Вт в трубках диаметром 16 мм (Т5) отличались удельной нагрузкой люминофорного слоя и

давлением наполняющего газа. Колбы ламп покрыты изнутри эритемным люминофором типа Э-2 с максимумом излучения на длине волны 310 нм. Разброс параметров удельной нагрузки люминофорного слоя по покрытию поверхности ламп с одинаковой мощностью и диаметром трубки не превышал 1 %.

Изготовленные партии ламп мощностью 13 Вт в трубке диаметром 16 мм со стеклом марки РН160 количеством по 8 штук в партии имели значения удельной нагрузки люминофора 1,40; 1,72 и 2,03 мг/см².

Изготовленные партии ламп мощностью 15 Вт в трубках диаметром 26 мм из стекла марки РН160 количеством по 9 штук в партии имели удельную нагрузку нанесенного люминофорного слоя 1.15; 2.24 и 3.33 мг/см². Удельная нагрузка люминофорного слоя определялась по образцам трубок с люминофором седиментационным методом [7].

Проведение испытаний изготовленных партий ламп. Лампы мощностью 13 Вт в количестве 26 штук и мощностью 15 Вт в количестве 29 штук до проведения измерений были установлены на испытательные стенды и работали в течение 100 часов. Выбор продолжительности испытаний ЛЛУФИ (эксперимента) был осуществлен с учетом, как уже было сказано выше, возможного изменения светотехнических характеристик за период испытаний.

Отказ в работе ламп за период испытаний был обнаружен для двух ламп мощностью 15 Вт (перегорание). Такое уменьшение количества экспериментальных объектов в ходе испытаний позволило обеспечить относительные ошибки определения светотехнических параметров на заданном уровне (как уже отмечалось выше, количество ламп было изначально взято «с запасом» именно на случай возможности их выхода из строя в процессе испытаний).

Электрическая схема стенда для проведения испытаний и вид самих ламп представлены на рисунке 1.

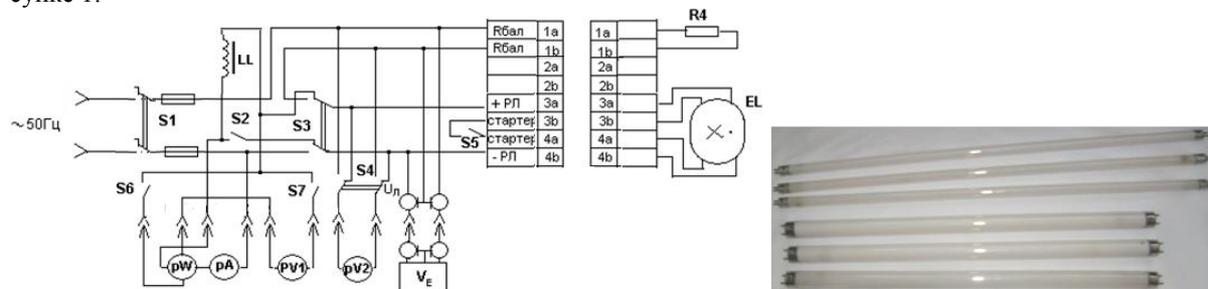


Рисунок 1 – Электрическая схема испытательного стенда и внешний вид ЛЛУФИ мощностью 13 и 15 Вт в колбах из стекла марки РН160

В электрической схеме при питании переменным током каждая из испытуемых лампы (EL) последовательно соединяется с дросселем (LL). Напряжение и ток при частоте 50 Гц определяются по показаниям измерительных приборов (PV, PA) типа Э59. Потребляемая мощность измеряется ваттметром (PW) типа Д529. Класс точности всех применяемых измерительных приборов 0,5. Контроль за формой питающего напряжения осуществлялся с помощью двухканального осциллографа С1 – 64А (V_E). Во всех случаях не синусоидальные искажения напряжения питания, а также дополнительные частоты выявлены не были.

Таким образом, класс точности электроизмерительных приборов лучше, чем оборудования для светотехнических измерений.

В электрической схеме возможен вариант питания испытуемой лампы (EL) выпрямленным током, который используется для проведения сравнительных измерений. Определение действующих значений тока и напряжения на лампе при этом режиме питания имеет свои особенности. Обе величины измеряются с помощью одного прибора – вольтметра типа С502 (PV₂) с классом точности 0,5. При этом значение тока лампы определяется из величины падения напряжения на калиброванном активном балластном сопротивлении (R₄).

Ключи S₁ – S₇ в схеме служат для коммутации измерительных приборов и переключении режимов.

Характеристики излучения ламп мощностью 13 и 15 Вт регистрировались при использовании в качестве приемника излучения радиометра типа ТКА-АВС и монохроматора дифракционного МДР-23 с фотоприемником ФЭУ-100. Основная относительная погрешность УФ-радиометра ТКА-АВС по паспортным данным составляет 17 %; средняя относительная погрешность между измерениями, проведенными двумя приборами этого типа, была рассчитана авторами настоящей статьи самостоятельно. Она составляла 2,5 % для области УФВ и 2,6% для области УФА. Применение монохроматора позволило оценивать мощности излучения на определенных длинах волн.

Методика обработка экспериментальных данных. При обработке использовались значения облученностей от изготовленных ламп по 20 штук каждой партии для областей УФС, УФВ, УФА.

Энергетический поток в области «УФВ» рассчитывался по результатам спектральных измерений на установке с монохроматором дифракционным МДР-23 и фотоприемником ФЭУ-100, позволяющей получать спектры излучения в табличном и графическом представлении [20].

Энергетический поток в области «УФС» оценивался исходя из соотношения потоков и облученностей в области УФВ и УФС. Для ламп мощностью 15 Вт в трубках Т8 с удельной нагрузкой слоя люминофора 1,15 мг/см² средние значения энергетических потоков в области УФС и УФВ составили, соответственно, 0,808 и 1,047 Вт (отношение потоков – $\Phi_{УФС}:\Phi_{УФВ} = 1:1,3$).

Для ламп с удельной нагрузкой слоя люминофора 3,33 мг/см² средние значения потоков в области УФС и УФВ составили, соответственно, 0,043 и 0,803 Вт (отношение потоков – $\Phi_{УФС}:\Phi_{УФВ}=1:19$). Отношение энергетических потоков для ламп мощностью 13 Вт в трубке Т5 с удельной нагрузкой 1,40 мг/см² – $\Phi_{УФС}:\Phi_{УФВ} = 1:1,1$.

Исследования были проведены в полном объеме, усредненные результаты измерений (проводилось по пяти измерений) сведены в таблицы 1 и 2 настоящей статьи. При этом экспериментальным лампам было присвоено обозначение типа ЛЭБ.

Таблица 1 – Усредненные значения энергетической облученности от ламп типа ЛЭБ 15 (нормальное $P = 0,95$ – вероятность, наиболее часто выбираемая на практике)

№ п/п	Удельная нагрузка люминофора, мг/см ²	Энергетическая облученность E , мВт/м ²		
		УФА	УФВ	УФС
11	1,15	94,5±6,70	125,0±10,08	88,0±10,10
22	2,24	95,56±2,58	109,22±3,30	48,67±3,00
33	3,33	96,56±3,55	100,67±4,47	4,89±0,46

Таблица 2 – Усредненные значения энергетической облученности от ламп типа ЛЭБ 13 (нормальное распределение $P = 0,95$)

№ п/п	Удельная нагрузка люминофора, мг/см ²	Энергетическая облученность E , мВт/м ²		
		УФА	УФВ	УФС
11	1,40	73,13±2,47	95,50±3,22	92,75±15,04
22	1,72	71,88±5,64	88,88±2,66	53,13±2,70
33	2,03	72,00±5,38	86,50±7,05	8,75±2,35

Значения абсолютных погрешностей в этой таблице приведены с учетом полученных при проведении измерений разбросов определенных (оцененных) параметров для отдельных экземпляров ламп.

Получение регрессионных уравнений зависимости энергетической облученности от нагрузки люминофорного слоя. Целью построения описываемых далее регрессионных уравнений являлось определение требуемых соотношений потоков в областях УФВ и УФС.

Первичные результаты измерений были обработаны с использованием методов линейного регрессионного анализа [21], при этом с использованием метода наименьших квадратов коэффициенты для линейных регрессионных уравнений (РУ), представляющих зависимости энергетической облученности от нагрузки люминофора, определялись в виде:

$$Y = b_0 + b_1 X \quad (2)$$

где Y – облученность (мВт/м²); b_0, b_1 – коэффициенты уравнения регрессии; X – удельная нагрузка люминофора, мг/см².

Коэффициенты детерминации R^2 для представленных ниже РУ имеют значения от 0,9354 до 0,9999, что показывает высокую степень достоверности аппроксимаций, т.е. совпадения экспериментальных и расчетных данных. В графическом виде РУ могут быть представлены в виде прямых линий (линий регрессии). Для УФВ излучения лампы типа ЛЭБ 13 РУ:

$$Y = 113,5 - 14,3X \quad (3)$$

Для УФС излучения лампы типа ЛЭБ 13 РУ:

$$Y = 280,2 - 133,3X \quad (4)$$

На рисунке 2 зависимости облученности УФВ и УФС лампы ЛЭБ 13 от удельной нагрузки люминофора представлены в виде графиков, где линейная уфв и линейная уфс – расчетные значения данных областей излучения.

Для УФВ излучения лампы типа ЛЭБ 15 РУ:

$$Y = 131,9 - 9,6X \quad (5)$$

Для УФС излучения лампы типа ЛЭБ 15: Уравнение регрессии

$$Y = 136,2 - 39,3X \quad (6)$$

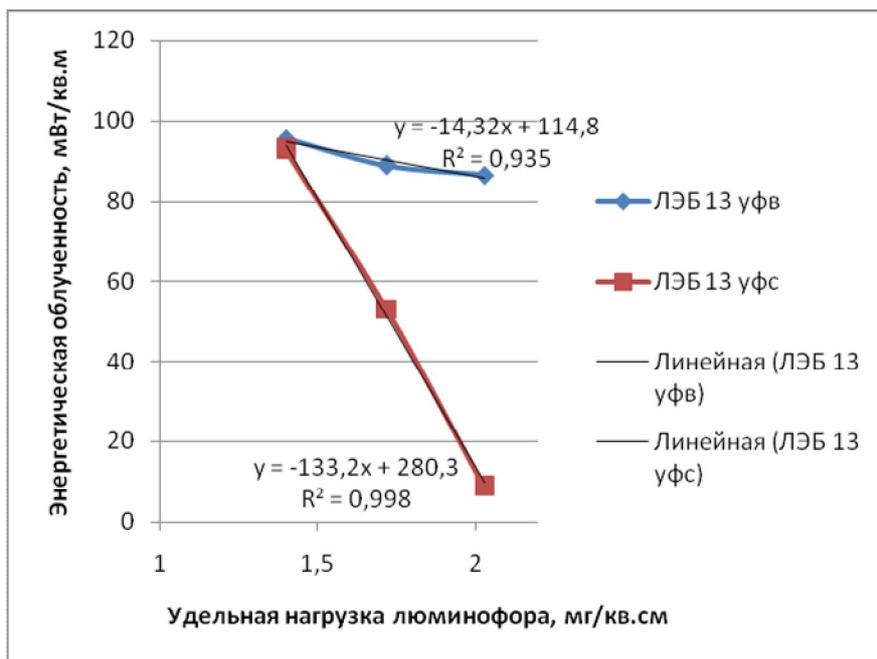


Рисунок 2 – Зависимость облученности УФВ и УФС лампы ЛЭБ 13 от удельной нагрузки люминофора

На рисунке 3 приведена зависимость облученности УФВ и УФС лампы ЛЭБ 15 от удельной нагрузки люминофора, где «линейная УФВ» и «линейная УФС» – расчетные значения для данных областей излучения.

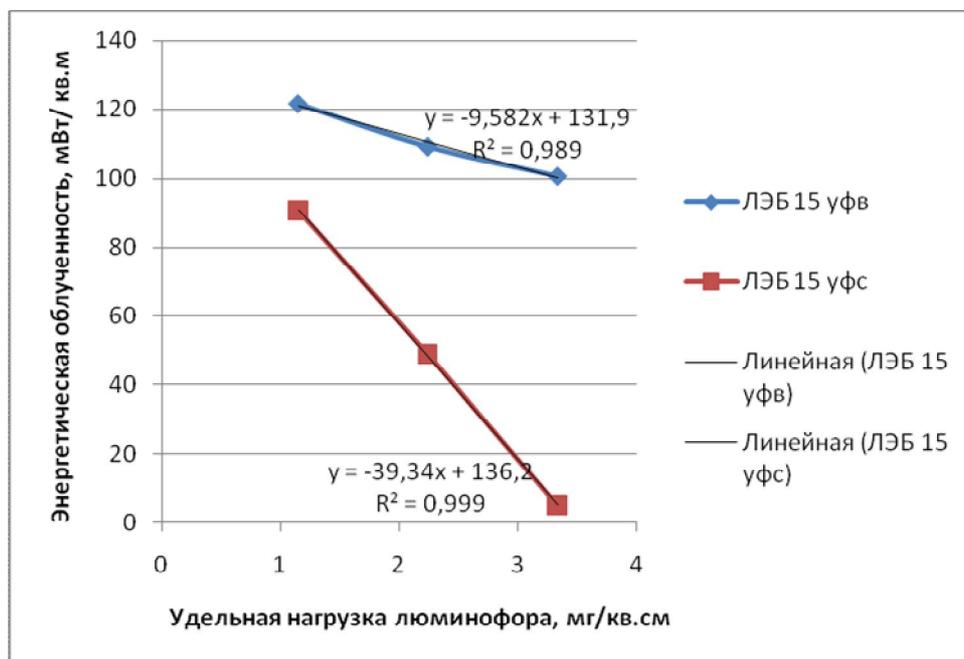


Рисунок 3 – Зависимость облученности УФВ и УФС лампы ЛЭБ 15 от удельной нагрузки люминофора

Полученные РУ позволяют определить значения удельной нагрузки люминофора для ЛЛУ-ФИ мощностью 13 и 15 Вт для требуемого соотношения потоков излучения в области УФВ и УФС.

В частности на основе представленных выше РУ можно определить, что для получения соотношения потоков излучения $\Phi_{УФС} : \Phi_{УФВ} = 1:3$ в лампах типа ЛЭБ 15 и ЛЭБ 13 следует обеспечить удельную нагрузку люминофора, соответственно, $2,63 \text{ мг/см}^2$ и $1,88 \text{ мг/см}^2$.

При таких удельных нагрузках разработанные экспериментальные лампы типа ЛЭБ 15 и ЛЭБ 13 с излучением в области УФС и УФВ имеют эффективную отдачу более, чем в 1,5 раза выше, чем применяемые сейчас для облучения животных лампы типа ЛЭ 15 и ЛЭ 13 [26].

Использование методов дисперсионного анализа для оценки статистической значимости влияния факторов. Авторами [1, 3, 11, 18] был выполнен однофакторный дисперсионный анализ в отношении определения влияния на «облученность в области УФВ» фактора «удельная нагрузка люминофора» для ламп мощностью 15 Вт и 13 Вт и рассмотрены другие виды сравнительного анализа [2,4]. С этой целью использовалась параметрическая модель односторонней классификации, которая имеет следующий вид:

$$X_{ti} = \xi + \gamma_t + Z_{ti}, \quad (7)$$

где X_{ti} – наблюдаемое значение; ξ – постоянная величина в t -ой группе, используемая для обозначения среднего значения; γ_t – отклонения значений ξ от среднего значения ξ ; Z_{ti} – отдельный случайный остаток; t ($t = 1, 2, \dots, k$) обозначает группу (уровень фактора); i ($i = 1, 2, \dots, n_t$) номер наблюдения в группе.

При сравнении значений энергетических облученностей области УФВ между двумя группами опытных ультрафиолетовых ламп типа ЛЭБ-13 с разной удельной нагрузкой люминофора, статистически значимых различий не было выявлено.

Статистически значимые различия энергетических облученностей от фактора «удельная нагрузка слоя люминофора» были выявлены для ламп типа ЛЭБ-15. Для них значение отношений средних квадратов равно 12,9, что больше значения $F_{кр}$ Фишера. При числе степеней свободы, соответствующей соотношению количеств ламп в группах, $F_{кр}$ Фишера 4,965. Это свидетельствует о возможности повышения эффективности излучения лампы в области УФВ за счет уменьшения удельной нагрузки люминофора на 2,18 мг/см².

Выводы. 1. Показана результативность использования тех ММ, которые были применены в данной работе.

2. Обоснована целесообразность учета при выборе источника излучения математической модели, учитывающей затраты на разработку, производство, испытания (исследования), эксплуатацию и утилизацию отработавших изделий.

3. Проведенные исследования ламп с колбами из увиолевого стекла и результаты их математической обработки позволяют сделать вывод об увеличении потока излучения в области УФС для ламп мощностью 13 и 15 Вт; некотором росте потока в области УФВ для ламп мощностью 15 Вт.

3. На основе использования метода наименьших квадратов получены линейные регрессионные зависимости облученности УФВ и УФС для ламп ЛЭБ 15 и ЛЭБ 13 от удельной нагрузки люминофора. Весьма высокие значения коэффициентов детерминации, показывают высокую степень совпадения расчетных (по РУ) и экспериментальных значений.

4. С использованием этих регрессионных уравнений определено, что соотношение потоков излучения (пропорциональных энергетическим облученностям,) в ЛЛУФС в виде $\Phi_{УФС}:\Phi_{УФВ} = 1:3$ увеличивает эффективный поток ламп, определенный в соответствии с функцией относительной спектральной эритемной эффективности, более, чем в 1,5 раза.

5. Результаты однофакторного дисперсионного анализа показывают, что статистически значимые различия энергетических облученностей от фактора «удельная нагрузка слоя люминофора» имеются для ламп типа ЛЭБ-15.

Список литературы

1. Бекарева Н. Д. Статистическая обработка моделей дисперсионного анализа / Н. Д. Бекарева, М. А. Раскосова // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (70). – С. 73–78.
2. Брумштейн Ю. М. Сравнительный анализ функциональности программных средств управления проектами, распространяемых по модели SaaS / Ю. М. Брумштейн, Н. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 4. – С. 34–51.
3. Богданова А. А. Математическая обработка статистических данных в дисперсионном анализе / А. А. Богданова, Э. А. Татевосян // Аналитические и финансово-экономические аспекты развития региональной экономики : сборник научных трудов по материалам 80-й ежегодной научно-практической конференции молодых ученых. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2015. – С. 219–222.
4. Волкова В. М. Исследование поведения статистики Лемана-Мака непараметрического дисперсионного анализа для наблюдений с пропусками / В. М. Волкова // Информатика и проблемы телекоммуникаций : материалы Российской научно-технической конференции. – 2011. – С. 54–57.
5. ГОСТ МЭК 60335-2-27-2009. Межгосударственный стандарт. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Дополнительные требования к приборам, воздействующим на кожу ультрафиолетовым и инфракрасным излучением. – Москва : Стандартинформ, 2014. – Ч. 2–27.
6. Коваленко О. Светотехническая установка с излучением в УФ- и видимом диапазонах спектра для сельскохозяйственной птицы / О. Коваленко, Ю. Пильщикова, Е. Гусева // Фотоника. – 2016. – № 5 (59). – С. 102–111.
7. Коваленко О. Ю. Новые ультрафиолетовые лампы для облучения сельскохозяйственных животных / О. Ю. Коваленко, Ю. А. Пильщикова, Е. Д. Гусева // Научные исследования и разработки в эпоху глобализации : сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 151–153.

8. Коваленко О. Ю. Повышение эффективности и контроль параметров источников излучения облучательных установок в сельском хозяйстве / О. Ю. Коваленко, Ю. А. Пильщикова, Е. Д. Гусева // Фотоника. – 2017. – № 8 (68). – С. 68–73.
9. Кочуров А. В. О решении проблем утилизации энергосберегающих ртутьсодержащих ламп / А. В. Кочуров, В. Н. Тимошин // Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 43–44.
10. Ламкин И. А. Ультрафиолетовые фотодиоды на основе контактов металл – твердые растворы нитридов галлия и алюминия / И. А. Ламкин, Е. А. Менькович, С. А. Тарасов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2012. – № 3. – С. 28–31.
11. Лемешко Б. Ю. Исследование влияния распределения ошибок на распределения статистик дисперсионного анализа / Б. Ю. Лемешко, В. М. Пономаренко // Информатика и проблемы телекоммуникаций : материалы Международной научно-технической конференции. – 2002. – С. 122–123.
12. Лихтер А. М. Способ биологической защиты от кровососущих летающих насекомых и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RUS 2417588 27.05.2009 / А. М. Лихтер, К. Е. Глушкова, Е. В. Лубянова, А. А. Ветрова, Ю. А. Плешкова, И. Т. Шагаутдинова, Ю. Н. Рогожина, Р. М. Дусалиев, Н. С. Ремзов. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18490990> (дата обращения 15.01.2018).
13. Мальвина А. С. Автоматизация, диспетчеризация и информатизация высокотехнологичных медресейдений как средство повышения эффективности их работы / А. С. Мальвина, Ю. М. Брумштейн, Е. В. Складенко, А. Б. Кузьмина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1. – С. 122–139.
14. Микаева С. А. Облучатели медицинские бактерицидные / С. А. Микаева, А. С. Микаева, О. Е. Железникова, И. А. Барина // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 2. – С. 35–41.
15. Микаева С. А. Бактерицидные облучатели СВЕТОЛИТ / С. А. Микаева, А. С. Микаева, Ю. П. Петренко, О. Е. Железникова, А. А. Ашратов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. – Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, 2015. – С. 218–223.
16. Микаева С. А. Облучатели бактерицидные / С. А. Микаева, А. С. Микаева, О. Е. Железникова, С. А. Амеликина // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 11. – С. 3–6.
17. Нестеркина Н. П. Электронный образовательный ресурс «Технология производства источников света» / Н. П. Нестеркина, Л. В. Синицына. – № государственной регистрации обязательного экземпляра электронного издания 0321602700. – 2016.
18. Попов А. М. Применение теста Уэлча в однофакторном дисперсионном анализе / А. М. Попов // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – № 7 (49). – С. 59–62.
19. Рыбаков А. В. Умные помещения: анализ существующих и перспективных направлений использования средств автоматического управления доступом и параметрами микроклимата / А. В. Рыбаков, Е. С. Степанищева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 1. – С. 170–187.
20. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – Москва : Знак, 2006. – 972 с.
21. Унгурияну Т. Н. Однофакторный дисперсионный анализ с использованием пакета статистических программ STATA / Т. Н. Унгурияну, А. М. Гржибовский // Экология человека. – 2014. – № 5. – С. 60–64.
22. Российская Федерация. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации от 23.11.2009 : федеральный закон № 261–ФЗ : [принят Государственной Думой 11.11.2009 г. ; одобрен Советом Федерации 18.11.2009 г.] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
23. Шиков С. А. Интерфейсы управления освещением / С. А. Шиков, Е. Г. Алексеев // XLIV Огаревские чтения : сборник материалов научной конференции : в 3 ч. – 2016. – С. 57–62.
24. Юферев Л. Ю. Повышение эффективности систем освещения и облучения / Л. Ю. Юферев, Д. С. Стребков, Д. В. Александров, А. В. Соколов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 1. – С. 13.
25. Юферев Л. Ю. Определение концентрации озона при работе УФ облучателей-озонаторов в помещениях для молодняка птицы / Л. Ю. Юферев, Л. К. Алферова // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 6. – С. 24–26.
26. Kovalenko O. Yu. Enhancement of efficiency of irradiation facility for domestic bird husbandry / O. Yu. Kovalenko, Ya. A. Pilshchikova // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Vol. 8, no. 2. – P. 14473–14479.

References

1. Bekareva N. D., Rasskazova M. A. Statisticheskaya obrabotka modeley dispersionnogo analiza [Statistical analysis of the models analysis of variance]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Novosibirsk State Technical University], 2012, no. 4 (70), pp. 73–78.
2. Brumshteyn Yu. M., Dudikov N. A. Sravnitelnyy analiz funktsionalnosti programnykh sredstv upravleniya proek-tami, rasprostranyaemykh po modeli SaaS [Comparative functional analysis of software projects licensed under the SaaS model]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 4, pp. 34–51.
3. Bogdanova A. A., Tatevosyan E. A. Matematicheskaya obrabotka statisticheskikh dannykh v dispersionnom analize [Mathematical processing of statistical data in the analysis of variance]. *Analiticheskie i finansovo-ekonomicheskie aspekty razvitiya regionalnoy ekonomiki : sbornik nauchnykh trudov po materialam 80-y ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Analytical and Financial and Economic Aspects of Regional Economic Development. Proceedings of the 80th annual Scientific and Practical Conference of Young Scientists], Stavropol, Stavropol State Agrarian University Publ. House, 2015, pp. 219–222.

4. Volkov V. M. Issledovanie povedeniya statistiki Lemana-Maka neparametricheskogo dispersionnogo analiza dlya nablyudeniya s propuskami [The study of the behavior of statistics Lehmann-Poppy nonparametric analysis of variance for observations with missing]. *Informatika i problemy telekommunikatsiy : materialy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Computer Science and Problems of Telecommunications. Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference], 2011, pp. 54–57.
5. GOST IEC 60335-2-27-2009. Interstate standard. Safety of household and similar electrical appliances. Additional requirements to the equipment, affecting the skin to ultraviolet and infrared radiation. Moscow, STANDARTINFORM Publ., 2014, part 2–27.
6. Kovalenko O., Pilshchikova Yu., Guseva Ye. Svetotekhnicheskaya ustanovka s izlucheniem v UF- i vidimom diapazonakh spektra dlya sel-skokhozyaystvennoy ptitsy [Lighting installation with electromagnetic radiation in the UV and visible range for poultry]. *Fotonika* [Photonics], 2016, no. 5 (59), pp. 102–111.
7. Kovalenko O. Yu., Pilshchikova Yu. A., Guseva Ye. D. Novye ultrafioletovye lampy dlya oblucheniya selskokhozyaystvennykh zhivotnykh [New UV lamps for irradiation of agricultural animals]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki v epokhu globalizatsii : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Research and Development in the Era of Globalization. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], 2016, pp. 151–153.
8. Kovalenko O. Yu., Pilshchikova Yu. A., Guseva Ye. D. Povyshenie effektivnosti i kontrol parametrov istochnikov izlucheniya oblucha-telnykh ustanovok v selskom khozyaystve [Improving the efficiency and control of parameters of radiation sources and irradiation facilities in agriculture]. *Fotonika* [Photonics], 2017, no. 8 (68), pp. 68–73.
9. Kochurov A. V., Timoshin V. N. O reshenii problem utilizatsii energosberegayushchikh rtutsoderzhashchikh lamp [The solution of the problems of recycling energy saving mercury containing lamps]. *Svetotekhnika* [Lighting], 2010, no. 3, pp. 43–44.
10. Lamkin I. A., Menkovich Ye. A., Tarasov S. A. Ultrafioletovye fotodiody na osnove kontaktov metall – tverdye rastvory nitridov galliya i alyuminiya [Ultraviolet photodiodes based on contact metal – solid solutions of nitrides of gallium and aluminium]. *Nauchno-tekhnicheskije vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskije nauki* [Scientific and Technical vedomosti SPbGPU. Physical and Mathematical Science], 2012, no. 3, pp. 28–31.
11. Lemeshko B. Yu., Ponomarenko V. M. Issledovanie vliyaniya raspredeleniya oshibok na raspredeleniya statistik dispersion-nogo analiza [The study of the influence of the distribution of the errors on the distributions of the statistics analysis of variance]. *Informatika i problemy telekommunikatsiy : materialy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Computer Science and Problems of Telecommunications. Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference], 2002, pp. 122–123.
12. Likhter A. M., Glushkov K. Ye., Lubyanova Ye. V., Vetrov A. A., Pleshkova Yu. A., Shagautdinova I. T., Rogozhin Yu. N., Dusalieva R. M., Remizov N. S. *Sposob biologicheskoy zashchity ot krovososushchikh letayushchikh nasekomykh i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Patent na izobretenie RUS 2417588 27.05.2009* [Method of biological protection against blood sucking flying insects and a device for its implementation. The patent for invention RUS 2417588 27.05.2009]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18490990> (accessed 15.01.2018).
13. Malvina A. S., Brumsteyn M. Yu., Sklyarenko Ye. V., Kuzmina A. B. Avtomatizatsiya, dispetcherizatsiya i informatizatsiya vysokotekhnologichnykh meduchrezhdeniy kak sredstvo povysheniya effektivnosti ikh raboty [Automatization and Informatization of high-tech medical facilities as a means of improving the efficiency of their work]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokije tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 1, pp. 122–139.
14. Mikaeva S. A., Minaeva A. S., Zheleznikova O. Ye., Barinova I. A. Obluchатели meditsinskie bakteritsidnye [Medical Irradiators bactericidal]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern Technology], 2016, no. 2, pp. 35–41.
15. Mikaeva S. A., Minaeva A. S., Petrenko Yu. P., Zheleznikova O. Ye., Ashrafov A. A. Bakteritsidnye obluchатели SVYeTOLIT [Bactericidal irradiators SVETOLIT]. *Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy svetotekhniki, elektrotekhn-ki i energetiki : materialy XII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkakh III Vserossiyskogo svetotekhnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem* Problems and Prospects of Development of Domestic Lighting Engineering, Electrical Engineering and Energy. Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation in the III All-Russian Lighting Forum with International Participation. Mordovian state University named after N. P. Ogaryov, 2015. - Pp. 218-223.
16. Mikaeva S. A., Minaeva A. S., Zheleznikova O. Ye., Amelkin S. A. Obluchатели bakteritsidnye [Bactericidal irradiators]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in Machine Building, Instrument Making], 2014, no. 11, pp. 3–6.
17. Nesterkina N. P., Sinityna L. V. *Elektronnyy obrazovatelnyy resurs «Tekhnologiya proizvodstva istochnikov sveta»* [Electronic Educational Resource “Production Technology of Light Sources”], № State Registration of Legal Deposit for Electronic Publications 0321602700, 2016.
18. Popov A. M. Primenenie testa Uelcha v odnofaktornom dispersionnom analize [Application of Welch test in the one-factorial dispersive analysis]. *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Problems of Modern Science and Education], 2016, no. 7 (49), pp. 59–62.
19. Rybakov A. V., Stepanishcheva Ye. S. Umnye pomescheniya: analiz sushchestvuyushchikh i perspektivnykh napravleniy ispolzovaniya sredstv avtomaticheskogo upravleniya dostupom i parametrami mikroklimate [Smart rooms: analysis of existing and promising application automatic access control and microclimate parameters]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokije tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 1, pp. 170–187.
20. Ayzenberg Yu. B. (ed.) *Spravochnaya kniga po svetotekhnike* [Reference book on illumination], Moscow, Znak Publ., 2006. 972 p.
21. Ungureanu T. N., Grzybowski A. M. Odnofaktorny dispersionnyy analiz s ispolzovaniem paketa statisticheskikh programm STATA [One-way ANOVA using the statistical software package STATA]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2014, no. 5, pp. 60–64.

22. Russian Federation. On energy saving and on increasing energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation from 23.11.2009. Federal law no. 261-FZ. Adopted by the State Duma on 11.11.2009, approved by the Federation Council on 18.11.2009. *ConsultantPlus* [ConsultantPlus]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/.

23. Shikov S. A., Alekseev Ye. G. Interfeysy upravleniya osveshcheniem [Interfaces for lighting control]. *XLIV Ogarevskie chteniya : sbornik materialov nauchnoy konferentsii : v 3 ch.* [XLIV Ogarevsky Read. Proceedings of the Scientific Conference : in 3 parts], 2016, pp. 57–62.

24. Yuferev L. Yu., Strebkov D. S., Aleksandrov D. V., Sokolov A. V. Povyshenie effektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting systems and radiation]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva* [Mechanization and Electrification of Agriculture], 2014, no. 1, pp. 13.

25. Yuferev L. Yu., Alferova L. K. Opredelenie kontsentratsii ozona pri rabote UF obluchateley-ozonatorov v pomeshcheniyakh dlya molodnyaka ptitsy [Determination of the concentration of ozone in the UV irradiators-ozonators in the rooms for the young birds]. *Tekhnika v selskom khozyaystve* [Technique in Agriculture], 2008, no. 6, pp. 24–26.

26. Kovalenko O. Yu., Pilshchikova Ya. A. Enhancement of efficiency of irradiation facility for domestic bird husbandry. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, vol. 8, no. 2, pp. 14473–14479.

РЕДАКЦИОННЫЙ КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ

В статье рассмотрены некоторые направления применения математических методов для обоснования выбора решений, связанных с разработкой, исследованием и использованием люминисцентных ламп ультрафиолетового излучения (ЛЛУФИ). В целом содержание статьи соответствует ее названию, а изложение выглядит достаточно логичным с точки зрения декларированной цели работы.

Однако по статье необходимо сделать ряд замечаний. 1) Не проанализировано, какие ЛЛУФИ выпускаются в настоящее время промышленностью. По-видимому, если не в России, то в мире, такой выпуск все же осуществляется в промышленных масштабах. 2) Математические модели для обоснования предпочтительности использования ЛЛУФИ представлены без каких-либо расчетов. Между тем такие расчеты (в т.ч. и по сравнению со светодиодными источниками излучения) были бы достаточно полезными для данной статьи. Можно было бы также рассмотреть варианты комбинированного использования «обычных» люминисцентных ламп и периодически включаемых источников ультрафиолетового излучения. 3) Выбор используемых в статье математических методов не обоснован с позиций их «необходимости и достаточности» для достижения декларированных целей. 4) Возможность использования методов «теории планирования экспериментов» в статье не рассмотрены, хотя их применение представлялось бы достаточно рациональным.

УДК 004.891

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ АВТОНОМНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И МЕТА-АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЖИВЫМИ СИСТЕМАМИ

Статья поступила в редакцию 09.02.2018, в окончательном варианте – 18.02.2018.

Петрова Татьяна Владимировна, Юго-Западный государственный университет, 305040, Российская Федерация, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,
соискатель, e-mail: ptata@ya.ru

Кузьмин Александр Алексеевич, Юго-Западный государственный университет, 305040, Российская Федерация, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,

кандидат технических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7980-0673>, SCOPUS <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36142241500>, ResearcherID <http://www.researcherid.com/rid/F-8405-2013>, e-mail: ku3bmin@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=616342; e-mail: ku3bmin@gmail.com

Савинов Денис Юрьевич, Юго-Западный государственный университет, 305040, Российская Федерация, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,
аспирант, e-mail: SFilist@gmail.com

Серебровский Вадим Владимирович, Юго-Западный государственный университет, 305040, Российская Федерация, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94,
доктор технических наук, профессор, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы построения систем поддержки принятия решений по прогнозированию и контролю эффективности управления живыми системами, в частности, обеспечения эффективности терапевтических процедур (ЭТП). Контроль ЭТП реализуется в три этапа. На первом этапе выбираются суррогатные маркеры, посредством мониторинга которых принимается решение об ЭТП. На втором этапе создается распределенная база данных, которая позволяет формировать суррогатные маркеры, предназначенные для мониторинга ЭТП. На третьем этапе осуществляется мета-анализ собранной в распределенной базе информации о суррогатных маркерах, по результатам которого принимается решение об ЭТП. Инструментом для создания распределенной базы данных служит интерфейс, который представляет собой программный модуль для проведения исследований с использованием интернет-технологий. При помощи его программных средств экспериментатор может создать сообщество удаленных