

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ РАСЧЕТНЫМИ МЕТОДАМИ

На примере светодиодных светильников в статье проиллюстрирован порядок исследования функциональных взаимосвязей основных параметров покупных комплектующих изделий в соответствии с современной концепцией качества. Приведены регрессионные зависимости, полученные для полного и усеченных множеств исследуемых объектов. Представлены графические иллюстрации рекомендуемых требований к основным характеристикам, выявленные в результате сглаживания выявленных зависимостей, позволяющие прогнозировать оптимальные параметры светильников на ранних стадиях проектирования, способствующие ускорению принятия решений в процессе организации и управления производством.

**Ключевые слова:** светодиодное освещение, регрессионный анализ, раннее проектирование, принятие решений, корреляционные зависимости, сглаживание функций.

**Введение.** В число задач комплексного управления производством входит требование оптимального выбора покупных комплектующих изделий (ПКИ) из предлагаемого многообразия, особенно в условиях огромной конкуренции и внедрения принципов всеобщего менеджмента качества (TQM) [1].

В условиях цифровой экономики [2] цикл «Исследование-производство-эксплуатация» непрерывно совершенствуется и усложняется: реиндустриализация отечественной промышленности требует создания единых технологических цепочек на всех стадиях изготовления изделий, начиная с процессов составления технических заданий.

В качестве примера для выработки рекомендаций по комплексному выбору ПКИ были выбраны светодиодные светильники (СД), как появившиеся в массовом количестве, сочетающемся с огромным многообразием конструкций и характеристик, в течение последних 5 лет.

Требования к месту установки, условиям эксплуатации СД, необходимым габаритным размерам определяют механические характеристики светильников. Такие светотехнические характеристики, как величина светового потока, цветовая температура, коэффициент цветопередачи светового потока, коэффициент пульсаций однозначно задаются разработчиком исходя из функций системы освещения (СО) и требований заказчика.

Часть электротехнических параметров, например, величина и допуск на напряжение электрического питания, частота электрического тока, тоже практически всегда определены заранее. Одновременно существует очень большой разброс предла-

гаемых моделей СД по таким важнейшим характеристикам, как энергоэффективность (соотношение потребляемой электрической мощности и результирующего светового потока) и ценовой политике производителей.

Настоящая статья посвящена анализу тенденций развития данного вида изделий с целью определения взаимосвязей параметров, позволяющих не только прогнозировать их значения, но и осуществлять оптимальный выбор ПКИ.

**Теория.** В условиях экзогенного экономического роста возникает необходимость всесторонней комплексной оценки не только ПКИ, входящих в выпускаемую предприятиями продукцию, но и всех этапов изготовления изделий, в частности, с целью разработки экономико-математических моделей [3].

Современные, регулярно обновляемые базы данных, содержащие информацию об изделиях, сгруппированных по различным признакам (предприятиям-изготовителям, функциональной принадлежности, ценовым категориям, характеристикам надежности и т.п.) позволяют выполнять автоматизированную обработку информации [4].

**Постановка задачи.** Исходя из практического опыта по проектированию СД СО, выявлено, что поставленные в части требований к СО задачи позволяют решать светильники мощностью не более 25 Вт со световым потоком не более 2000 лм.

С целью выполнения экспериментальных расчетов в программе Microsoft Excel сформирован массив данных, содержащий представленные производителями характеристики СД, выполненный в виде исходной матрицы  $M_{(113,15)}$ .

Учитывая выше обоснованную однозначность выбора СД по большому ряду характеристик и отсутствие части декларируемых (коэффициентов цветопередачи и пульсации светового потока, гарантийного срок службы и т.д.), было принято решение об исследовании влияния соотношений практически всегда заявляемых характеристик: величины светового потока, потребляемой электрической мощности и цены, при этом была выполнена выборка  $L_{(113,3)}$  из исходной матрицы, содержащая отобранные характеристики.

Исследование зависимости потребляемой электрической мощности от величины светового потока (энергоэффективности) крайне важно не только в части стоимости потребляемой электроэнергии, но и как фактора, влияющего на другие характеристики СД, такие как тепловые режимы работы, срок службы и т.п.

Принимая во внимание, что цены на рыночную продукцию формируются из большого числа показателей (стоимости сырья и материалов, накладных расходов, заработной платы, потребительского спроса и т.д.) и далеко не всегда прямо пропорциональны основным функциональным характеристикам, была поставлена задача по определению влияния светотехнических характеристик (величины светового потока) на конечные цены СД.

**Результаты экспериментов.** По результатам попарной обработки столбцов матрицы  $L_{(113,3)}$  посредством стандартного пакета прикладных статистических программ Microsoft Excel [5] построены линейные, полиномиальные (2-го и 3-го порядков), логарифмические, степенные и экспоненциальные регрессионные зависимости с определением соответствующих коэффициентов уравнений и индексов детерминации  $R^2$ , позволяющих определить

Таблица 1

Индексы детерминации и оценка показателей тесноты связей для исходной совокупности

| Вид регрессионной зависимости | $R^2$ для зависимости между I, лм и Ц, руб. | Оценка связи I/Ц по шкале Чеддока | $R^2$ для зависимости между P, Вт и Ц, руб. | Оценка связи P/Ц по шкале Чеддока |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Линейная                      | 0,3191                                      | умеренная                         | 0,1094                                      | слабая                            |
| Полиномиальная 2-го порядка   | 0,3625                                      | умеренная                         | 0,1109                                      | слабая                            |
| Полиномиальная 3-го порядка   | 0,3696                                      | умеренная                         | 0,1115                                      | слабая                            |
| Логарифмическая               | 0,3235                                      | умеренная                         | 0,0972                                      | —<br>(отсутствует)                |
| Степенная                     | 0,2538                                      | слабая                            | 0,1389                                      | слабая                            |
| Экспоненциальная              | 0,2471                                      | слабая                            | 0,1097                                      | слабая                            |

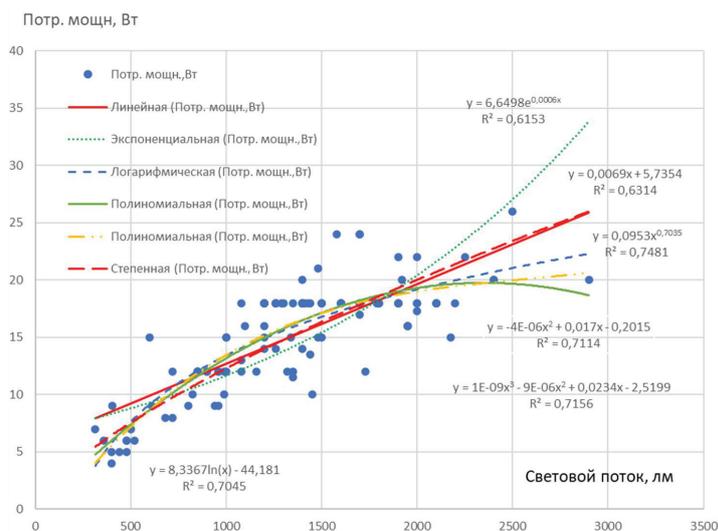


Рис. 1. Графики регрессионных зависимостей между значениями потребляемой мощности и величинами световых потоков СД для исходной совокупности данных

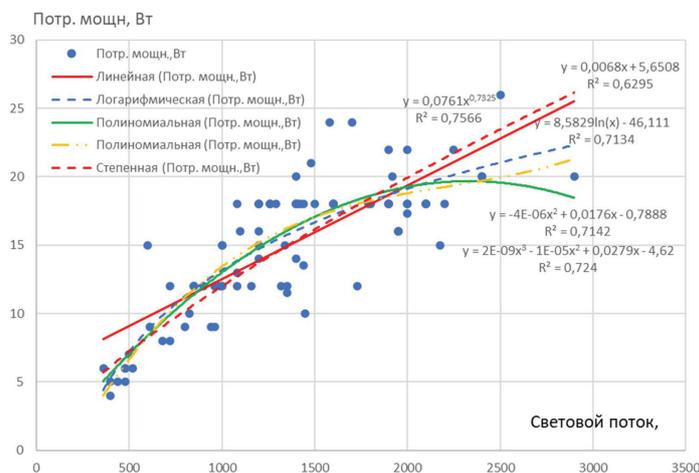


Рис. 2. Графики регрессионных зависимостей между значениями потребляемой мощности и величинами световых потоков СД для усеченной совокупности данных (93 модели СД)

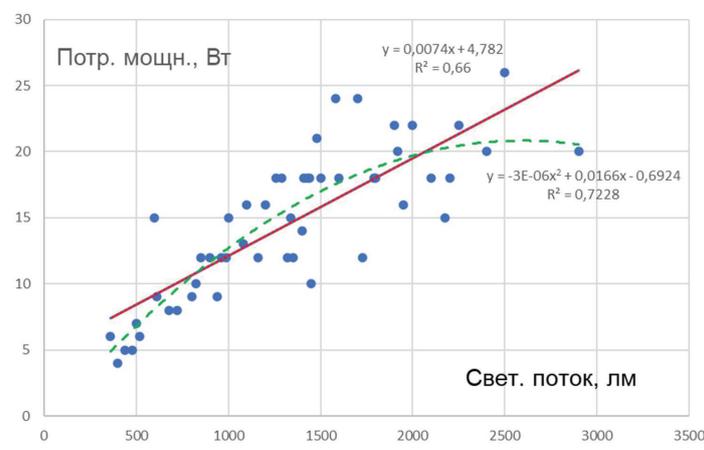


Рис. 3. Графики регрессионных зависимостей между значениями потребляемой мощности и величинами световых потоков СД для усеченной совокупности данных (51 модель СД)

качество каждой полученной регрессионной модели. Значения индексов детерминации с оценками показателей тесноты связей по шкале Чеддока [6] в части влияния величины светового потока и потребляемой мощности сведены в табл. 1, анализ которой показал, что зашумленность исходных данных очень высокая и не позволяет получить достоверную информацию [7].

Одновременно зависимость между значениями потребляемой мощности и величинами световых потоков, является более достоверной, что проиллюстрировано на рис. 1.

Для большинства характеристик регрессионных зависимостей влияние величины светового потока на потребляемую СД мощность относительно высокое (что соответствует физическому смыслу), но еще не позволяет уверенно оценивать оптимальные соотношения между данными характеристиками для приобретаемых или проектируемых СД.

С целью повышения оптимизации оценки [8] и учетом умеренности вышеописанных связей между полученными регрессионными зависимостями светового потока и потребляемой СД мощности относительно цен для всех СД было рассчитано соотношение световой поток/цена и выполнено ранжирование генеральной совокупности по данному

соотношению. В качестве выбросов [9] были удалены светильники со значениями данного соотношения менее 0,41 лм/руб. (10 светильников), как заведомо имеющие низкие остальные светотехнические характеристики (коэффициенты цветопередачи и высокие коэффициенты пульсаций) и СД, со значениями соотношения более 3,125 (10 светильников), как оснащенные дополнительными дорогостоящими сервисными функциями, не влияющими на световой поток.

Для полученной усеченной выборки из 93 моделей СД построены графики регрессионных зависимостей величин световых потоков от цен с получением индексов детерминации  $R^2$  больше 0,5 и зависимостей значений потребляемых мощностей от величин световых потоков (рис. 2), что также не позволило сделать достоверные выводы.

В порядке продолжения исследований [10] и подготовки данных к полноценной работе в программной среде для решения задач (PSE) Mathcad 15 (MC) усеченные данные были проранжированы по величине светового потока с удалением информации о СД, имеющих одинаковую величину светового потока, в результате чего была получена матрица  $L_{(51,3)}$  и построены графики и регрессионных зависимостей, приведенные на рис. 3 и рис. 4. Значения

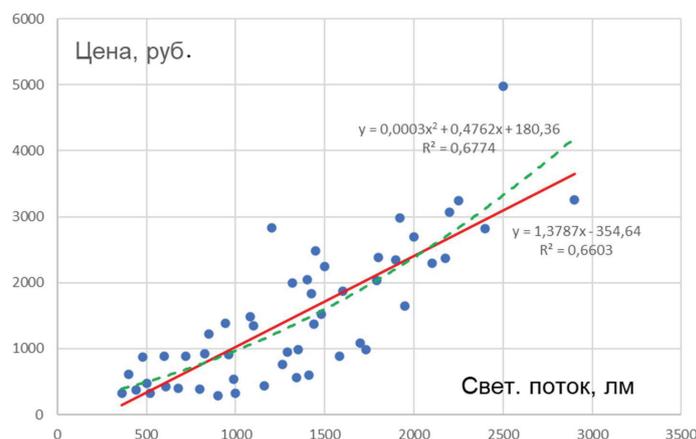


Рис. 4. Графики регрессионных зависимостей между значениями цен и величинами световых потоков СД для усеченной совокупности данных (51 модель СД)

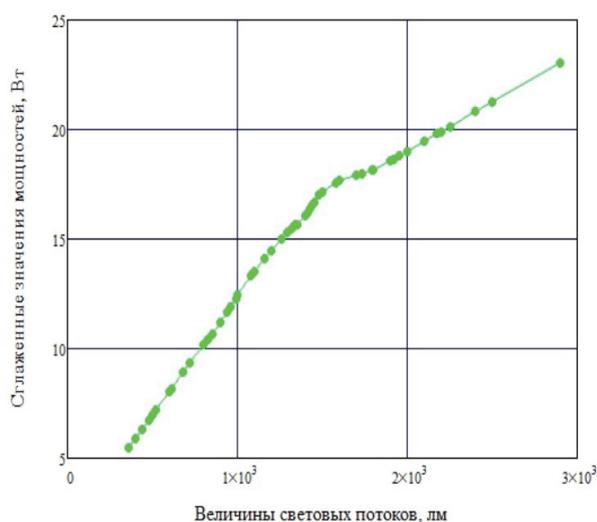


Рис. 5. Результаты сглаживания зависимости потребляемой мощности от величины светового потока

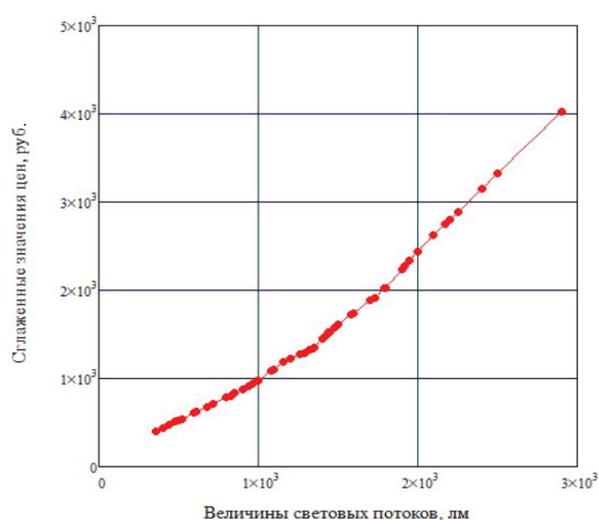


Рис. 6. Результаты сглаживания зависимости цен на СД от величины светового потока

индексов детерминации  $R^2$  на графиках идентичны полученным ранее и подтверждают обоснованность перехода к работе в программной среде МС.

После экспортирования данных в МС и извлечения векторов с данными из матрицы  $M_{[51,3]}$ , в которую они были сохранены, выполнена регрессия посредством встроенной функции `line` с определением коэффициентов линейных уравнений, значения которых совпали со значениями, приведенными на рис. 3 и рис. 4.

На рис. 5 приведены результаты сглаживания зависимости потребляемой мощности от величины светового потока посредством функции `supsmooth`, основанной на методе наименьших квадратов [11], в графическом виде.

Коэффициент корреляции между совокупностью значений величин световых потоков СД и полученными в результате сглаживания значениями электрических мощностей СД определен посредством функции `corr` (реализующей формулы нахождения коэффициентов Пирсона [12]). Значение коэффициента 0,971 говорит о достаточно высоком качестве сглаживания и устойчивости полученной оценки [13], что позволяет применять полученные данные для обоснования требований к значениям

электрических мощностей СД относительно величин световых потоков.

Результаты сглаживания функции зависимости цен на СД от величин световых потоков приведены на рис. 6.

Значение коэффициента корреляции между сглаженными значениями цен на СД и величинами их световых потоков, также полученное с помощью функции `corr`, равно 0,987, что позволяет считать результат сглаживания ценовой зависимости вполне достоверным и, соответственно, предъявлять требования к ценовой политике предприятий-изготовителей.

Совместное рассмотрение рис. 5 и рис. 6 позволяет выдвинуть гипотезу о наличии специфической области в зоне значений световых потоков СД около 1500 лм, являющейся местом изменения наклона обоих графиков в случае их аппроксимации прямыми линиями.

**Заключение.** Выполненные исследования подтвердили высокий уровень зашумленности исходных данных. Определение регрессионных зависимостей и сглаживание данных в программной среде Mathcad позволило с достаточной степенью достоверности определить соотношения между ис-

следуемыми характеристиками, позволяющими практическое применение полученной информации в процессе проектирования изделий, в частности, обоснованы требования, связанные со значениями потребляемой мощности и ценами в зависимости от величины светового потока.

#### Библиографический список

1. Каблашова И. В. Применение концепции тотального менеджмента качества в системе управления предприятием // Экономинфо. 2017. № 3. С. 68–73.
2. Амелин С. В., Щетинина И. В. Организация производства в условиях цифровой экономики // Организатор производства. 2018. Т. 26, № 4. С. 7–18. DOI: 10.25987/VSTU.2018.50.18.001.
3. Лазарева Е. И., Лозовицкая Д. С. Экономическая оценка параметра научно-технического прогресса в модели инновационного экзогенного экономического роста // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2020. Т. 28, № 1. С. 123–136. DOI: 10.22363/2313-2329-2020-28-1-123-136.
4. Щёкин А. В. Автоматизация получения параметров детали для задач конструкторско-технологической параметризации // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 3. С. 345–365. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201903.345-365.
5. Яковлев В. Б. Регрессионный анализ. Расчеты в Excel и Statistica. Москва: РУСАЙНС, 2018. 178 с. ISBN 978-5-4365-2727-7.
6. Попова А. М. Исследование экономических задач с помощью элементов теории корреляции // Вопросы педагогики. 2021. № 1-1. С. 200–203.
7. Fosson S. M., Cerone V., Regruto D. Sparse linear regression from perturbed data // Automatica. 2020. Vol. 122. 109284. DOI: 10.1016/j.automatica.2020.109284.
8. Mori Yu., Suzuki T. Generalized ridge estimator and model selection criteria in multivariate linear regression // Journal of Multivariate Analysis. 2018. Vol. 165. P. 243–261. DOI: 10.1016/j.jmva.2017.12.006.
9. Смоляк С. А. Обоснование спецификации регрессионных зависимостей в задачах стоимостной оценки // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2020. № 4 (223). С. 47–60. DOI: 10.24411/2072-4098-2020-10405.
10. Kawano S., Fujisawa H., Takada T. [et al.]. Sparse principal component regression for generalized linear models // Computational Statistics & Data Analysis. 2018. Vol. 124. P. 180–196. DOI: 10.1016/j.csda.2018.03.008.
11. Новиковский Е. А. Работа в системе MathCAD. Барнаул: Типография АлтГТУ, 2013. 114 с.
12. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. 432 с. ISBN 978-5-9775-0746-2.
13. Bako L. Robustness analysis of a maximum correntropy framework for linear regression // Automatica. 2017. Vol. 87. P. 218–225. DOI: 10.1016/j.automatica.2017.09.006.

**ВАСИЛЬЕВА Ирина Евгеньевна**, ведущий инженер.

SPIN-код: 7437-6344

AuthorID (РИНЦ): 1097221

ORCID: 0000-0002-2015-8097

Адрес для переписки: [vasilevagoz@mail.ru](mailto:vasilevagoz@mail.ru)

**САЙБЕЛЬ Алексей Геннадиевич**, доктор технических наук, профессор научно-образовательного центра.

SPIN-код: 5674-6533

AuthorID (РИНЦ): 562257

ORCID: 0000-0002-4493-138X

Адрес для переписки: [saybel\\_ag@mail.ru](mailto:saybel_ag@mail.ru)

#### Для цитирования

Васильева И. Е., Сайбель А. Г. Определение взаимосвязей характеристик светодиодных светильников расчетными методами // Омский научный вестник. 2021. № 3 (177). С. 49–53. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-49-53.

Статья поступила в редакцию 13.03.2021 г.

© И. Е. Васильева, А. Г. Сайбель