

АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

И.Е. Жигалов, О.И. Моногаров

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), г. Владимир, Россия*

Рассматривается проблема управления качеством изготовления кабельной изоляции на микроуровне. Существующий подход, представленный методом сканирования, в данной области не является достаточно эффективным, так как не позволяет лицу, принимающему решение (ЛПР), адекватно оценивать образующиеся экономические издержки. Для решения данной проблемы был разработан алгоритм, позволяющий оптимизировать данный процесс. В качестве критерия оптимальности использовался выигрыш, рассчитываемый как разница между экономическим эффектом, образующимся в результате регулирования параметров технологического процесса, и стоимостью управления. В свою очередь оценки экономического эффекта и стоимости управления производились на базе математического аппарата теории нечетких множеств и нечеткой логики, что позволило адаптировать модель принятия решений к индивидуальным особенностям предприятий отрасли. Преимуществом разработанного алгоритма также является его абсолютная сходимость, не дающая ему заикливаться в процессе оптимизации.

Представлены результаты численного моделирования, в ходе которого было проведено порядка ста экспериментов по управлению качеством кабельной изоляции с применением разработанного инструмента оптимизации. Результатом моделирования является зависимость усредненных значений исследуемого критерия от номера испытания, которая подтверждает адекватность разработанных информационно-аналитических и управленческих решений. Найденное решение соответствует экстремуму целевой функции и является оптимальным. В сравнении с существующим подходом принятия решений в данной области экономический выигрыш составил 14,68 %. При этом в зависимости от экономических оценок производительности и стоимости управления результаты существующего метода сканирования и описываемого алгоритма могут совпадать, однако в общем случае последний дает лучшие результаты.

Ключевые слова: управление качеством, кабельная промышленность, микродефекты, поддержка принятия решений.

Введение

На современном этапе значительная часть канализации электрической энергии осуществляется с применением высоковольтных кабелей. Основным преимуществом кабельных линий является их компактность и безопасность для окружающих. В то же время близкое расположение проводящих жил в кабельном изделии диктует высокие требования к качеству изготовления его электрической изоляции. Различные дефекты, неизбежно образующиеся в процессе производства, могут как существенно сократить срок службы самого кабеля, так и привести к возникновению аварийных ситуаций в электроустановках и электрических сетях высокого напряжения. Как показано в работах [1–5], образование дефектов непосредственно связано с параметрами технологического процесса, изменение которых позволяет управлять качеством производимой продукции.

Декомпозиция процесса управления позволяет выделить два принципиально отличных уровня, на каждом из которых решается своя задача. Первый уровень направлен на расчет параметров производственной линии при использовании математических моделей реологии и химии полимеров [6–8], что позволяет избежать грубых конструктивных дефектов и обеспечить соответствие механических, электрических и эксплуатационных характеристик кабельной продукции. Другой уровень предназначен для удержания в определённых границах степени развития микро-

дефектов, которые представляют собой всевозможные выступы, поры, микротрещины, усадочные раковины, примеси и различного рода диэлектрические включения внутри и на поверхности изоляции. Основной проблемой в осуществлении эффективного управления на данном уровне является отсутствие математических и статистических моделей, устанавливающих связь между параметрами производственной линии и степенью опасности образующихся микродефектов. Построение универсальных адекватных моделей для решения данной проблемы практически невозможно, так как на показатели качества продукции этого уровня влияет большое число индивидуальных факторов, зависящих от конструктивных особенностей оборудования, степени его износа, используемого сырья, систем контроля производственного процесса, мощности механических вибраций в цехе, запылённости и многих других. Ввиду указанных обстоятельств управление на данном уровне осуществляется итерационно, исходя из общих рекомендаций качественного характера, а шаг регулирования определяется на основе оценки экономических издержек лицом, принимающим решения. Для определения степени опасности образующихся в данном процессе микродефектов на этапе типовых испытаний проводятся измерение уровня частичных разрядов (ЧР) и исследование поверхности изоляционного материала под микроскопом. В процессе принятия решения о регулировании параметров технологического процесса ЛПР производит сопоставление типа наиболее развитого микродефекта и максимального зарегистрированного значения ЧР, что позволяет определить возможные параметры регулирования.

Эффективность такого управления является недостаточной, так как ЛПР не способен прогнозировать реакцию системы и адекватно оценивать экономические факторы в промежуточных точках, что отражается на увеличении экономических издержек, основными причинами которых являются падение производительности линии и стоимость управления. Последняя определяется как числом испорченных кабельных заготовок, так и недополучением прибыли в результате вывода из работы производственной линии. Таким образом, основную задачу по разработке такой системы можно сформулировать следующим образом: оптимизация определения параметров производственного процесса с учётом требований к качеству изоляции, минимизация издержек управления и увеличение производительности.

1. Математическая постановка задачи

В связи с тем, что связь между значениями параметров технологического процесса и степенью опасности микродефектов не может быть описана аналитически, решение поставленной задачи относится к классу задач многомерной условной экспериментальной оптимизации. Как уже было отмечено, управление системой в процессе поиска решения является весьма дорогостоящим, поэтому на практике поиск решения проводят только по одному параметру, регулирование которого не приводит к развитию микродефектов уже другого типа. В итоге задача многомерной оптимизации сводится к одномерной, которая может быть представлена системой:

$$\begin{cases} Q_d < Q_{lim}; \\ P \rightarrow \max; \\ C \rightarrow \min, \end{cases} \quad (1)$$

где Q_d – величина ЧР от микродефекта типа $d \in D$; Q_{lim} – предельно допустимая величина ЧР; P – производительность технологического процесса; C – стоимость управления (зависит от числа экспериментов). Кроме того, о поставленной задаче можно сказать, что она относится к классу одноэкстремальных, так как функция $P(p)$ является строго убывающей при уменьшении (увеличении) некоторого параметра p , а C – строго возрастающей при увеличении числа экспериментов.

2. Методология решения

Обычно данная задача решается методом сканирования [9–11] с шагом, соответствующим некоторым узловым точкам в оценке допустимости снижения производительности. Тогда в качестве решения принимается первое, удовлетворяющее требованиям качества. Данный подход не является достаточно эффективным, так как не позволяет оптимизировать экономические издержки от потери производительности и стоимость экспериментального исследования. Для совершенствования существующего метода предлагается ввести экономический критерий оптимальности найденного решения pC , рассчитываемый по следующей формуле:

$$pC = \tilde{P} - \tilde{C}, \quad (2)$$

где \tilde{P} – нечеткая оценка экономического эффекта рассматриваемого уровня производительности; \tilde{C} – нечеткая оценка стоимости управления. Сущность формулы (2) заключается в определении выигрыша от увеличения производительности и затрат, связанных с экспериментированием. Для обеспечения экономической целесообразности продолжения поиска наилучшего решения должно выполняться условие

$$pC_+ > pC_{end}, \quad (3)$$

где pC_+ – прогнозируемое значение pC -критерия; pC_{end} – значение pC -критерия последнего найденного решения.

Операция сравнения нечетких чисел в (3) содержит в себе неопределенность, которая разрешается использованием математического аппарата теории игр. В работе [12] данная задача сводится к сравнению двух отрезков при разложении каждого из нечетких чисел по α -уровням. В результате обобщения критериев принятия решения авторами [12] был определен функционал, которым должно руководствоваться ЛПР при сравнении двух альтернатив:

$$(1 - v)g_i(\alpha) + vG_i(\alpha) \rightarrow \max, \quad i = 1, 2, v [0; 1], \quad (4)$$

где $g(\alpha)$ – левая граница отрезка на выбранном α -уровне; $G(\alpha)$ – правая граница отрезка на выбранном α -уровне. Функционал (4) максимизирует ожидаемый доход выбранного решения c_α , величина v характеризует вероятность состояния $G(\alpha)$ системы. Далее производится суммирование по всем α -уровням и совокупный ожидаемый доход принимает вид

$$c = \int_0^1 c_\alpha d\alpha = \int_0^1 ((1 - v)g(\alpha) + vG(\alpha)) d\alpha.$$

Соответственно получаем, что нечеткое число pC_+ больше нечеткого числа pC_{end} тогда и только тогда, когда $c(pC_+) > c(pC_{end})$.

Для оценки pC -критерия на каждом этапе принятия решения выполняется нечеткая аппроксимация суждений ЛПР об экономическом эффекте уровня производительности и стоимости управления методом изолиний в узловых точках, соответствующих терм-множеству, представленному в таблице.

Терм-множество оценки суждений ЛПР

№	Лингвистическая переменная	Ядро нечеткого множества b
1	«очень высокий»	0,875
2	«высокий»	0,750
3	«выше среднего»	0,625
4	«средний»	0,500
5	«ниже среднего»	0,375
6	«низкий»	0,250
7	«очень низкий»	0,125

В качестве функции принадлежности для данных множеств используется симметричная гауссова функция вида:

$$\mu(x) = \exp\left[-\left(\frac{x - b}{a}\right)^2\right],$$

где b – ядро нечеткого множества; a – параметр ширины.

После введения ЛПР соответствующих данных строятся нечеткие функции, аппроксимирующие суждения ЛПР, что позволяет оценить значение pC -критерия в любой промежуточной точке.

Дальнейшая работа системы строится согласно алгоритму, блок-схема которого представлена на рис. 1.

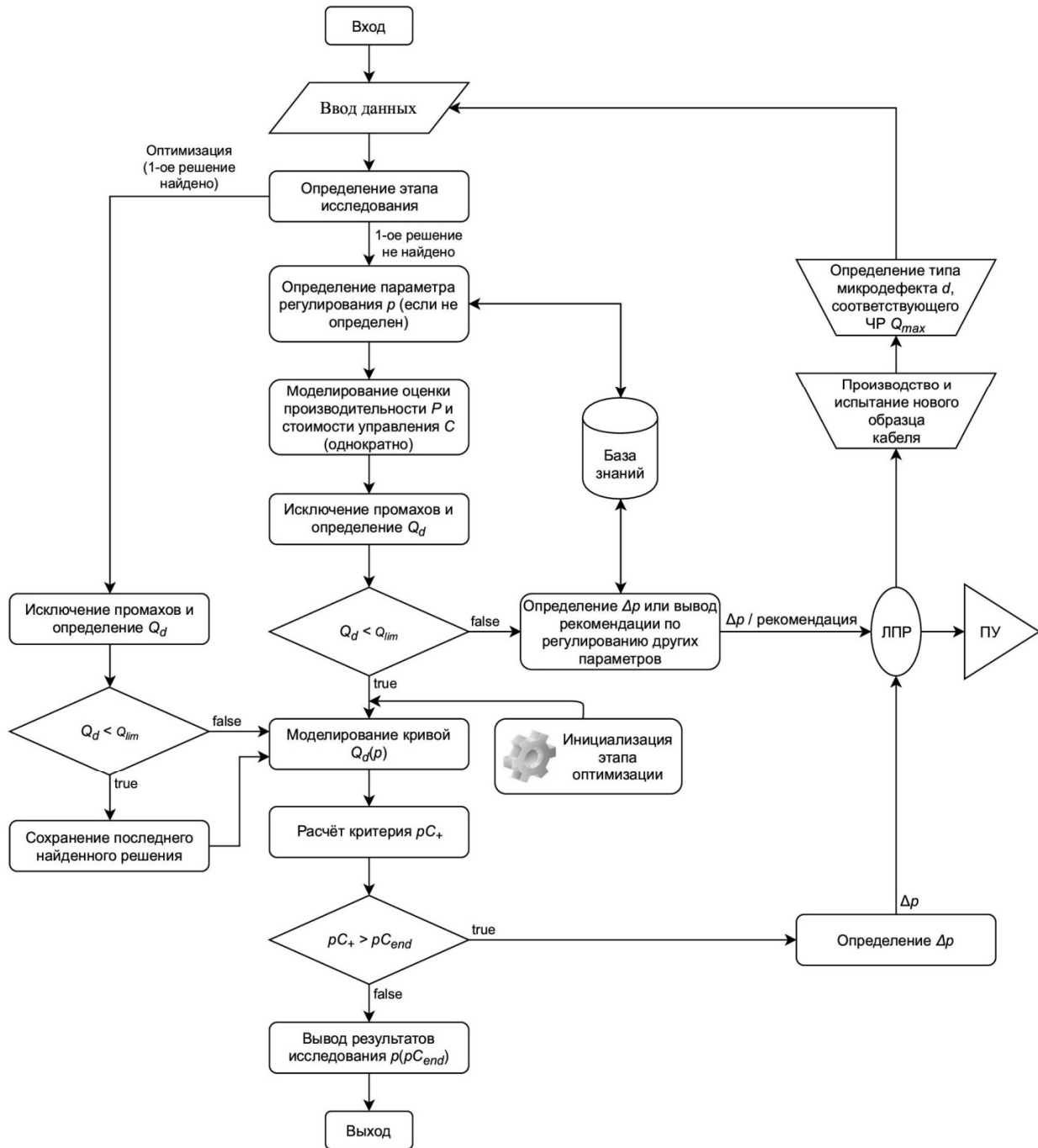


Рис. 1. Блок-схема алгоритма системы поддержки принятия решений

В начале своей работы после ввода исходных данных на основе имеющейся базы знаний, содержащей информацию о параметрах технологического процесса, влияющих на различные типы микродефектов, системой выбирается параметр регулирования p , изменение которого влияет на микродефект типа d и производительность линии, но является индифферентным по отношению к другим показателям качества.

Далее производится однократное моделирование экономической оценки производительности P и стоимости управления C на основе оценок ЛПР лингвистических переменных, представленных в таблице. Полученные данные по измерению ЧР проверяются на наличие промахов на основе непараметрической модели типа «ящик с усами», после чего рассчитывается максимальное значение ЧР Q_d как среднее максимальных значений ЧР по всем измерениям текущего испытания. Здесь следует обратить внимание на то, что, несмотря на присутствие шумовых воздей-

вий, в качестве результата измерения ЧР принимается максимальное зарегистрированное значение. Данное обстоятельство связано с высокой ценой ошибки, что накладывает на ЛПП обязанность руководствоваться критерием крайнего пессимизма при принятии решений. На практике это означает то, что параметры технологического процесса подбираются с хорошим запасом, обеспечивающим высокое качество производимой продукции.

На следующем этапе работа алгоритма повторяет существующий метод сканирования, выдавая значения регулируемого параметра p , соответствующие узловым точкам экономической оценки производительности P в порядке уменьшения. Так продолжается до тех пор, пока не будет найдено первое решение, то есть удовлетворяющее условию $Q_d < Q_{lim}$, или не будут проверены все точки. Если решение так и не было найдено, то производится запрос к базе знаний, которая выдаёт рекомендацию по регулированию других параметров и управление передаётся на первый уровень, на котором должна быть пересчитана вся модель производственного процесса.

Если же первое решение было найдено, то проводится моделирование кривой $Q_d(p)$. Методология моделирования зависит от имеющегося числа точек. Минимальное значение экспериментальных точек равно двум: исходная точка и точка, полученная на первом шаге. В этом случае строится линейная интерполяция. Если же точек будет более двух, то выполняется экспоненциальная аппроксимация.

Полученная модель кривой $Q_d(p)$ позволяет спрогнозировать величину образующегося максимального ЧР и получить соответствующее значение параметра p . Далее в соответствии с найденным значением p по формуле (2) рассчитывается прогнозируемое значение pC -критерия pC_+ . Если pC_+ оказывается больше своего значения для последнего найденного решения pC_{end} , то проводится контрольное испытание, которое должно подтвердить правильность выбранного значения исследуемого параметра. Если по его результатам соблюдается условие $Q_d < Q_{lim}$, то принятое в нем значение p принимается в качестве последнего найденного решения. Затем с учетом новой точки заново проводится моделирование $Q_d(p)$, строится новый прогноз и рассчитывается pC -критерий, по которому снова будет приниматься решение о целесообразности дальнейшего экспериментирования.

Описанный алгоритм имеет абсолютную сходимость, что доказывается весьма просто. Функция стоимости управления $\tilde{C}(n)$ является бесконечно возрастающей неограниченной функцией, соответственно

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\tilde{C}(n)) = \infty.$$

В то же время при поиске решения системы (1) значение функции $\tilde{P}(p)$ будет заключено в пределах между найденным решением в некоторой узловой точке на шаге i и предшествующей узловой точкой на шаге $i-1$, тогда

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\tilde{P}(p)) = \text{const}.$$

Поскольку бесконечно большая величина всегда больше ограниченной, то значение pC -критерия на некотором i -м шаге обязательно начнет снижаться и поиск решения будет остановлен.

3. Научная новизна

В данной работе предложен алгоритм управления поиском оптимального значения параметра регулирования технологического процесса производства кабельной изоляции, обеспечивающий требуемый уровень качества в испытаниях на ЧР. Преимуществом разработанного алгоритма по сравнению с существующим подходом является оптимизация затрат между стоимостью управления качеством и доходом от увеличения производительности на основе математического аппарата теории нечеткой логики и нечетких множеств. В качестве критерия оптимальности был введен pC -критерий, рассчитываемый по формуле (1) на каждом шаге процесса оптимизации. Как было показано выше, описанный алгоритм имеет абсолютную сходимость, что позволяет его использовать без риска заклинивания процесса поиска решения.

4. Результаты численного моделирования

Рассмотрим работу алгоритма на примере управления качеством изготовления кабельной изоляции при обнаружении ЧР, вызванных шероховатостью поверхности изоляции жилы. Пусть мы имеем следующую априорную информацию.

1. Кривая истинных значений ЧР $Q(p)$ (рис. 2).

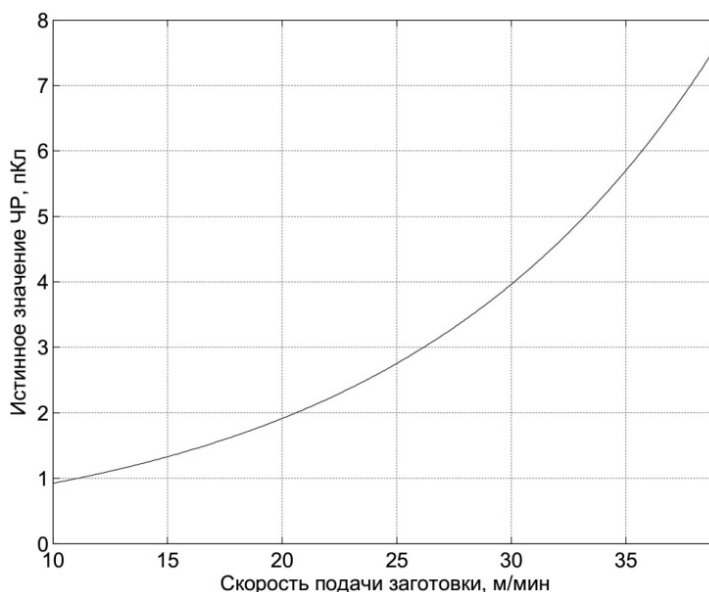


Рис. 2. Кривая истинных значений ЧР $Q(p)$

2. Статистическая модель измерения амплитуды импульсов ЧР Q , которая в соответствии с [13] имеет вид:

$$Q = -k_g \frac{a_0 + a'}{\omega e^{-\alpha(x_{01} + \Delta t_s)}}; \quad (5)$$

$$\Delta t_s = -\frac{b_0 + b'}{a_0 + a'} + \frac{b_0}{a_0},$$

где k_g – градуировочный коэффициент; x_{01} – x -координата первой четверти периода переходного процесса; ω – угловая частота переходного процесса; Δt_s – ошибка начального момента переходного процесса; a_0, b_0 – истинные значения коэффициентов касательной к сигналу в точке x_{01} ; a', b' – случайные величины, являющиеся коэффициентами вспомогательной линейной функции.

Здесь отметим, что описание модели (5) является отдельной темой и не является целью настоящего исследования. Однако для понимания её общей концепции добавим, что амплитуда ЧР определяется исходя из уравнения касательной к графику сигнала в точке x_{01} и статистических характеристик шумового процесса.

3. Вероятность первичного наложения импульсов – 20 %.

4. Условная вероятность наложения импульсов в зоне от начала первого импульса до завершения первого полупериода переходного процесса – 4 %.

5. Число анализируемых полупериодов испытательного напряжения – 10.

Требуется построить и проанализировать зависимость усредненных значений pC -критерия от числа испытаний, а также определить в процентном соотношении экономический выигрыш при использовании разработанного алгоритма.

В процессе его функционирования были построены нечеткие модели оценки производительности и стоимости управления, представленные на рис. 3.

При построении представленных зависимостей, а также при расчете pC -критерия по формуле (2) использовался математический аппарат теории нечетких множеств и нечеткой логики [14, 15].

В результате проведения 100 численных экспериментов была построена усредненная зависимость $pC(n)$, изображенная на рис. 4.

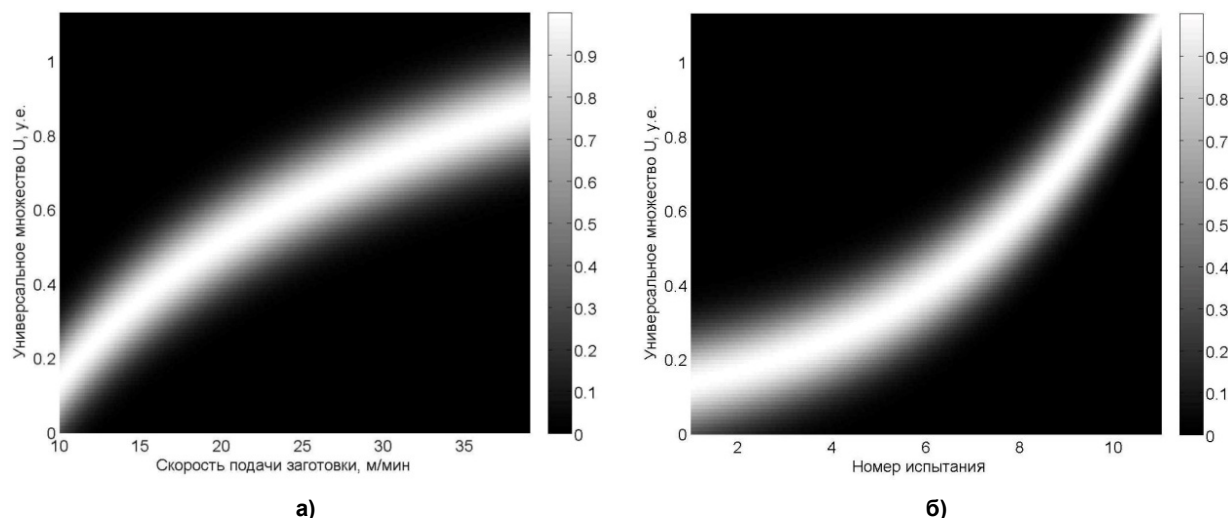


Рис. 3. Нечеткие функции оценки: а – оценки экономического эффекта производительности технологического процесса; б – стоимости управления

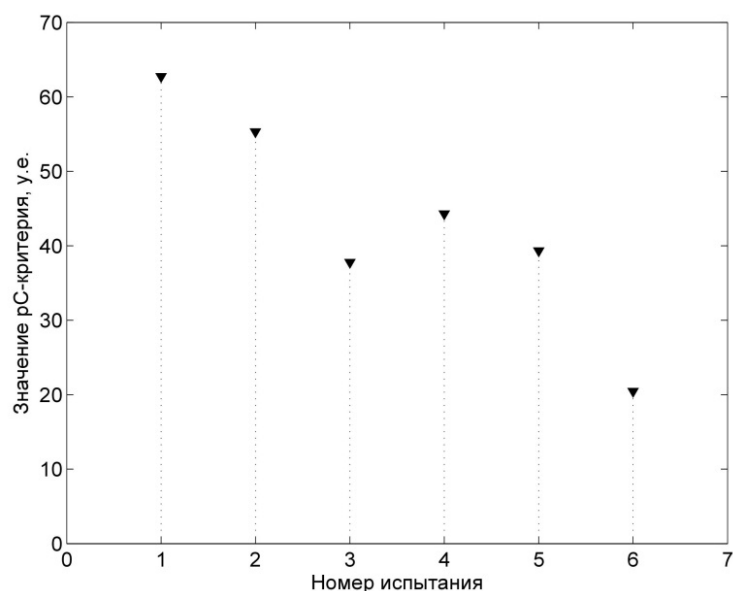


Рис. 4. Зависимость pC-критерия от номера испытаний

5. Анализ полученных результатов

Анализируя представленный график, можно проследить процесс поиска оптимального решения: 1) сначала следовал поиск первого решения, удовлетворяющего условию $Q_d < Q_{lim}$; данное решение было найдено на третьей итерации; 2) далее был инициирован этап оптимизации, в результате которого производительность производственного процесса была увеличена, что сопровождается ростом значения pC-критерия; 3) на итерациях 5 и 6 производилось уточнение искомого параметра p , однако, как видно из графика, данные действия были экономически нецелесообразны и сопровождалась падением значений pC-критерия. В соответствии с построенной зависимостью четвертая итерация соответствует точке экстремума графика после нахождения первого решения, из чего следует, что найденное на ней решение является оптимальным. В процентном соотношении экономический выигрыш составил 14,68 %.

Вывод

Подводя итог проделанной работе, можно заключить, что разработанный нами алгоритм по экономическим показателям выигрывает у существующего подхода. Однако следует отметить, что в зависимости от экономической оценки производительности и стоимости управления ре-

зультаты его работы могут и совпадать с результатами, полученными традиционным методом. Тем не менее в общем случае разработанный нами алгоритм дает лучшие результаты и может быть применен на предприятиях отрасли для оптимизации экономических издержек в процессе управления качеством производимой продукции.

Литература

1. Образцов, Ю.В. Силовые кабели среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. Факторы качества / Ю.В. Образцов, А.А. Фрик, А.А. Сливов // *Кабели и провода*. – 2005. – № 1. – С. 9–13.
2. Леонов, А.П. Выявление дефектов кабелей и проводов при испытаниях по категории ЭИ-2 / А.П. Леонов, В.В. Редько // *Кабели и провода*. – 2015. – № 1. – С. 15–20.
3. Баринин, В.М. Входной контроль качества кабельной продукции / В.М. Баринин, А.В. Прошин, Н.Н. Соловьев // *Кабели и провода*. – 2016. – № 6. – С. 16–18.
4. Bessissa, Lakhdar. Influence of Fuzzy Parameters on the Modeling Quality of XLPE Insulation Properties under Thermal Aging / Lakhdar Bessissa, Larbi Boukezzi, Djillaly Mahi // *Fuzzy Information and Engineering*. – 2016. – Vol. 8, iss. 1. – P. 101–112. DOI: 10.1016/j.fiae.2016.03.006
5. Starikova, N.S. The analysis of factors affecting the quality of cable insulation control carried out with the complex method / N.S. Starikova, V.V. Redko // *WSEAS Transactions on Systems and Control*. – 2016. – Vol. 11. – P. 39–44.
6. Краннхфельд, Л.И. Теория, расчет и конструирование кабелей и проводов: учеб. для техникумов / Л.И. Краннхфельд, И.Б. Рязанов. – М.: Высшая школа, 1972. – 384 с.
7. Малкин, А.Я. Реология: концепции, методы, приложения: пер. с англ. / А.Я. Малкин, А.И. Исаев. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. – 560 с.
8. Головкин, Г.С. Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов / Г.С. Головкин. – М.: Химия: КолосС, 2007. – 399 с.
9. Ganguli, Sushil Kumar. Power Cable Technology / Sushil Kumar Ganguli, Vivek Kohli. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 427 p.
10. Холодный, С.Д. Методы испытаний и диагностики в электроизоляционной и кабельной технике: учеб. пособие / С.Д. Холодный, С.В. Серебрянников, М.А. Боев. – М.: Издат. дом МЭИ, 2009. – 232 с.
11. Григорьян, А.Г. Технология производства кабелей и проводов с применением пластмасс и резин / А.Г. Григорьян, Д.Н. Дикерман, И.Б. Пешков; под ред. И.Б. Пешкова: учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с.
12. Ухоботов, В.И. О сравнении нечетких чисел в задачах принятия решений / В.И. Ухоботов, Е.С. Михайлова // *Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки*. – 2016. – Т. 26, № 1. – С. 87–94. DOI: 10.20537/vm160108
13. Моногаров, О.И. Определение порогового значения при различении наложений импульсов частичных разрядов методом последовательного анализа экстремумов / О.И. Моногаров // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2018. – № 12. – С. 24–29.
14. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. / А. Пегат. – 3-е изд. (эл.). – Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 801 с.). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – (Адаптивные и интеллектуальные системы).
15. Галлямов, Е.Р. Компьютерная реализация операций с нечеткими числами / Е.Р. Галлямов, В.И. Ухоботов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Вычислительная математика и информатика»*. – 2014. Т. 3, № 3. – С. 97–108.

Жигалов Илья Евгеньевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой информационных систем и программной инженерии, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), г. Владимир; ikgij@vlsu.ru.

Моногаров Олег Игоревич, соискатель кафедры информационных систем и программной инженерии, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), г. Владимир; Olegmngarv@rambler.ru.

Поступила в редакцию 16 апреля 2019 г.

THE ALGORITHM OF DECISION SUPPORT IN QUALITY GOVERNANCE OF THE CABLE INSULATION MANUFACTURE

I.E. Zhigalov, ikgij@vlsu.ru,

O.I. Monogarov, Olegmngarv@rambler.ru

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (VISU),

Vladimir, Russian Federation

In this article the quality governance issue of the cable insulation manufacture at the micro level is considered. The existing approach, presented by scanning method, in this field is not effective enough, because it does not allow the decision maker (DM) to adequately assess the occurring economic costs. To address this problem the algorithm, optimizing this process, was developed. As an optimality criterion the gain, calculated as the difference between the economic benefit, resulting from regulation of technological process, and the cost of governance, was used. In turn evaluations of the economic benefit and the cost of governance have been made on the basis of the theory of fuzzy sets and fuzzy logic, that has allowed to adapt the decision making model to individual conditions of the industry members. Also the advantage of developed algorithm is its absolute convergence, which prevents to looping of the optimization process.

Also the article presents the results of numerical simulations, where about one hundred quality governance experiments of cable insulation, using the developed optimization tool, were held. The simulation result is the dependence between average values of investigated criterion and test number, which confirmed the adequacy of developed information-analytical and governance solutions. The found solution corresponds to the extremum of the loss function and is the optimal. In compare with the existing approach of decision-making in this field the economic gain was 14,68 %. In doing so, depending on economic evaluations of the productivity and the cost of governance the results of the existing scanning method and the described algorithm may coincide, but generally the last one produce better results.

Keywords: quality governance, cable industry, microdefects, decision support.

References

1. Obratsov Ju.V., Frik A.A., Slivov A.A. [Medium Voltage Cables with XLPE Insulation. Quality Factors]. *Cables and Wires*, 2005, no. 1, pp. 9–13. (in Russ.)
2. Leonov A.P., Red'ko V.V. [The Defect Detection of Cables and Wires in Tests for Categories EI-2]. *Cables and Wires*, 2015, no. 1, pp. 15–20. (in Russ.)
3. Barinov V.M., Pronin A.V., Solov'ev N.N. [Incoming Quality Control of Cable Products]. *Cables and Wires*, 2016, no. 6, pp. 16–18. (in Russ.)
4. Lakhdar Bessissa, Larbi Boukezzi, Djillaly Mahi. Influence of Fuzzy Parameters on the Modeling Quality of XLPE Insulation Properties under Thermal Aging. *Fuzzy Information and Engineering*, 2016, vol. 8, iss. 1, pp. 101–112. DOI: 10.1016/j.fiae.2016.03.006
5. Starikova N.S., Red'ko V.V. The Analysis of Factors Affecting the Quality of Cable Insulation Control Carried out with the Complex Method. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 2016, vol. 11, pp. 39–44.
6. Krannhfel'd L.I., Ryazanov I.B. *Teoriya, raschet i konstruirovaniye kabeley i provodov* [The Theory, Calculation and Design of Cables and Wires]. Moscow, High School Publ., 1972. 384 p.
7. Malkin A.Ya., Isaev A.I. *Reologiya: konceptsii, metody, prilozheniya* [Rheology: Concepts, Methods and Application]. St. Petersburg, Profession Publ., 2010. 560 p.
8. Golovkin G.S. *Proektirovaniye tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya izdeliy iz polimernykh materialov* [The Design of the Technological Process for Producing Wares from Polymer Materials]. Moscow, Chemistry Publ., EarS Publ., 2007. 399 p.
9. Sushil Kumar Ganguli, Vivek Kohli. *Power Cable Technology*. Boca Raton, CRC Press, 2016, 427 p.

10. Holodnyy S.D. *Metody ispytaniy i diagnostiki v ehlektroizolyatsionnoy i kabel'noy tekhnike* [The Test and Diagnostic Methods into Electrical Insulation Technology and Cables]. Moscow, MEI Publ., 2009. 232 p.

11. Grigor'yan A.G., Dikerman D.N., Peshkov I.B. *Tekhnologiya proizvodstva kabeley i provodov s primeneniem plastmass i rezin* [The Technological Process for Producing Cables and Wires with Plastic and Rubber]. Moscow, Machinery Publ., 2011. 368 p.

12. Ukhobotov V.I., Mihaylova E.S. [Comparison of Fuzzy Numbers in Decision-Making Problems]. *The Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science*, 2016, vol. 26, no. 1, pp. 87–94. (in Russ.) DOI: 10.20537/vm160108

13. Monogarov O.I. [The Finding of a Threshold for Discrimination of PD Pulses Overlays Using the Method Based on an Analysis of the Sequence of Extrema]. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2018, no. 12, pp. 24–29. (in Russ.)

14. Pegat A. *Nechotkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy Modeling and Control], Moscow, Binom. Knowledge laboratory, 2015. 801 p.

15. Gallyamov E.R., Ukhobotov V.I. [Computer Implementation of Operations with Fuzzy Numbers]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computational Mathematics and Software Engineering*, 2014, vol. 3, no. 3, pp. 97–108. (in Russ.)

Received 16 April 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Жигалов, И.Е. Алгоритм поддержки принятия решений в управлении качеством изготовления кабельной изоляции / И.Е. Жигалов, О.И. Моногаров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 94–103. DOI: 10.14529/ctcr190309

FOR CITATION

Zhigalov I.E., Monogarov O.I. The Algorithm of Decision Support in Quality Governance of the Cable Insulation Manufacture. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 94–103. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190309
