

УДК 338.2

ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

¹Осипов С.Ю., ²Осипов Ю.Р., ²Богданов Д.А., ³Шлыков С.А.

¹ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь,
e-mail: osipov sergejj@rambler.ru;

²ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда,
e-mail: iur.osipov2011@yandex.ru;

³ФКОУ ВО «Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний», Вологда, e-mail: prep50@mail.ru

Качество – это важнейший фактор конкурентоспособности, определяющий успех производственного процесса. В статье рассмотрены следующие структурные элементы экономики качества: управление качеством, стандартизация, метрология, оценка и подтверждение соответствия уровня качества заявленным требованиям. Приведено обоснование их непосредственного влияния на развитие промышленности. Авторами подробно проанализирован аспект важнейшего элемента современной экономики качества, а именно управления уровня качества. Учтены главные понятия качества как объекта управления, способы его анализа, оценки, измерения и методология управления качеством с точки зрения устойчивого развития, которое, в свою очередь, обеспечивается инновациями. Для оценки экономически эффективных режимов защиты химического оборудования и аппаратуры от коррозии агрессивных сред в работе предложена к использованию обобщенная функция желательности Харрингтона. Применение обобщенной функции желательности целесообразно для оценки экономически эффективных режимов горячего крепления покрытий. Проведены теоретические расчеты и экспериментальные исследования, которые позволят интенсифицировать тепловые режимы процесса, обеспечат надежность и долговечность химического оборудования. Это позволит улучшить производственные процессы в установившихся и переходных режимах, как по технологическим, так и по экономическим характеристикам, что, в конечном счете, является необходимым в условиях современной рыночной экономики. Определены соотношения оптимальных режимов термообработки, соответствующие получению качественных по стоимости покрытий на основе обобщенной функции желательности Харрингтона.

Ключевые слова: экономика качества, стандартизация, методы управления качеством, эксплуатация, эффективность, управление качеством

OPTIMIZATION OF THE QUALITY LEVEL TO MANAGEMENT IN PRODUCTION PROCESSES

¹Osipov S.Yu., ²Osipov Yu.R., ²Bogdanov D.A., ³Shlykov S.A.

¹Tver State Technical University, Tver, e-mail: osipov-sergejj@rambler.ru;

²Vologda State University, Vologda, e-mail: iur.osipov2011@yandex.ru;

³Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia,
Vologda, e-mail: prep50@mail.ru

Quality is a key factor of competitiveness, determining to success of the production process. The article singles out the following structural elements of the economics of quality: quality management, standardization, metrology, assessment and confirmation of conformity of level of quality requirements. Justified their direct impact on the development of the industry. The authors analyzed aspect is the most important element of the economics of quality – quality management – from the point of view of sustainable development, which, in turn, is provided with innovation. The quality management system is an innovation whose implementation will allow to achieve goals in quality at any level of management. The paper presents theoretical research and practical recommendations for assessment of efficiency the gummed equipment and control technological processes with the use to the generalized desirability function of Harrington. The generalized function of desirability can be used for evaluation of cost-effective modes of hot fixing of coatings, it allows to optimize production processes in steady and transient modes such as the technological and economic parameters, which is necessary in a modern market economy. On the basis of generalized desirability function determined the ratio of heat treatments for obtaining high quality and optimal cost coverings.

Keywords: economics of quality, standardization, methods of quality management, operation, effectiveness, quality management

В настоящее время качество трансформировалось из сугубо технической в общественно-экономическую проблему. Это касается всех областей хозяйствования на всех стадиях общественного воспроизводства. Современные вопросы экономического развития можно решить, привлекая

огромное внимание к проблемам качества, которые сейчас являются уже общественно-экономической и для решения которых необходимо использовать системный подход в различных отраслях народного хозяйства [1–3]. Эти проблемы приобретают важное значение, так как качество является

основой безопасности продукции и услуг, их конкурентоспособности, удобства и доступности [4].

Вопросы высокого качества являются важнейшими с целью экономической деятельности в условиях глобализации и, соответственно, роста целенаправленного воздействия на производственные процессы [5, 6]. Экономика качества является частью экономической науки, которая изучает взаимосвязи качественных показателей и характеристик. Качество продукции все больше становится критическим фактором конкурентоспособности, что требует новых подходов к планированию качества и разработке технологических требований к продукции.

Производство химической аппаратуры и оборудования на одно из первых мест выдвигает аспекты и критерии экономического характера. Кроме того, снижение стоимости оборудования и затрат по его эксплуатации должны обеспечивать высокую степень надежности и необходимую долговечность. В свою очередь, это напрямую связано с проблемами применения материалов, которые обладают высокой коррозионной стойкостью [7, 8]. Часто не только требования экономического характера, но и возможность осуществления технологического процесса зависят от оптимального выбора материалов, способов и средств их защиты.

Как показывают статистические данные о надежности химического оборудования, что более 85% химического оборудования работает достаточно надежно. Наряду с этим общий срок службы оборудования технологических линий химических производств не превышает один – два года, а средняя наработка на отказ их составляет 300 ч. Доказано, что теплообменное оборудование составляет около 78% ненадежных химических объектов. При этом главной причиной отказов такого оборудования и аппаратов является коррозия материала.

Одним из способов защиты оборудования от кавитационного, коррозионного, эрозийного разрушения и других видов воздействия является гуммирование, которое обеспечивает значительное сокращение расходов дефицитных дорогостоящих сплавов и легирующих металлов.

Стоимость основного и вспомогательного оборудования составляет более 30% стоимости всего оборудования гуммировочных производств, а потребление тепловой энергии превышает 75% от всех технологических затрат тепла. С этими причинами связаны актуальные направления разработ-

ки и интенсификации тепловых режимов термообработки эластомерных обкладок металлических объектов.

Такие проблемы особенно остро встают перед всеми химическими, металлургическими, целлюлозно-бумажными, теплоэнергетическими и другими предприятиями страны, в том числе и городов Вологодской области (ОАО «Аммофос», ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод», ОАО «Северсталь», ООО «РТИ-Центр», ОАО «Череповецкий азот»; г. Череповец; ОАО «Сокольский ЦБК» г. Сокол). Эти отрасли промышленности с непрерывными технологическими процессами, а также целый ряд других секторов экономики считаются крупнейшими потребителями гуммированного оборудования [8–10].

Обобщенная функция желательности Харрингтона выступает уникальным показателем для оптимизации системы, который позволит учесть требования, предъявляемые к свойствам материала, а также степень их важности. Изучение возможности применения этой функции для технологических и экономических оценок режимов вулканизации покрытий на основе различных каучуков описано в данной статье. Объектами исследования являлись покрытия различных марок (например, из резины 2566, полуэбонита 1752, резины 1976 и других) на основе различных каучуков (натурального, бутадиенового, изопренового, нитрильного и других) [7].

Применение метода рационального планирования эксперимента в виде греко-латинского квадрата получены экспериментальные данные испытаний 16 опытных образцов из материала каждого вида. На рисунке приведен типовой график функции желательности Харрингтона при одностороннем ограничении исследуемых характеристик покрытия из резины марки 2566, где y' – ее кодированные (безразмерные) текущие значения. Для перевода натуральных значений y все множество разделено на подмножества, относительно которых можно оценить качество объекта.

Шкалу y' можно разделить на два подмножества с оценкой «Хорошо (X)» и «Плохо (П)», так как все натуральные значения y имеют одностороннее ограничение. В первой области, соответствующей интервалу $y_{\min} < y < y_{\max}$, $0 < y' < 1,5$, функция Харрингтона соответствует линейной. Анализ графика (рисунок) показывает, что для такой градации оценок функция может принимать значения $0 < d < 0,37$ (область «П») и $0,37 < d < 0,8$ (область «X»). Максимальное значение частной функции желательности d ($d = 0,8$) соответствует $y = y_{\max}$, т.е.

самому лучшему качеству управления производственным процессом с данным показателем.

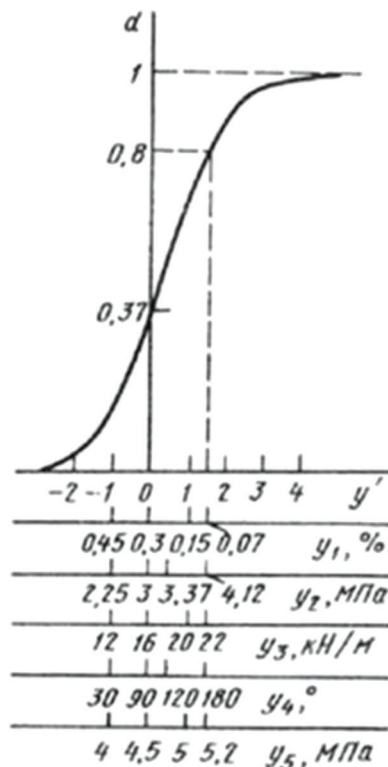
Аналитически функция желательности задается следующими соотношениями:

$$D_i = \exp(-\exp(-y_i')); \quad (1)$$

$$y_i' = Ky_i + b,$$

где i – номер опыта; K и b – константы, которые определяются из граничных условий:

$$Ky_{\min} + b = 0; Ky_{\max} + b = 1,5. \quad (2)$$



Типовая функция желательности Харрингтона: y_1 – содержание свободной серы, %; y_2 – сопротивление отрыву, МПа; y_3 – сопротивление расслоению, кН/м; y_4 – предельный угол гибки, °; y_5 – сопротивление сдвигу, МПа

Обобщенный критерий показателя D_G качества введен как свертка частных функций желательности d_i . В качестве такого критерия использована средняя геометрическая свертка:

$$D_G = \prod_{j=1}^m d_j^{\alpha_j} = \exp\left(-\sum_{j=1}^m \alpha_j \exp(-y_j')\right). \quad (3)$$

Здесь m – число показателей, принятых для исследования; j – номер показателя; α_j – весовой коэффициент, учитывающий значимость j -го показателя в общей системе:

$$\alpha_j \leq 0 \leq 1; -\sum_{j=1}^m \alpha_j = 1.$$

Комплексная величина K_0 , по которой оценивают качество управления объектом в целом,

$$K_0 = \varphi(y_j) D_G.$$

Значение комплексной величины K_0 должно гарантировать невозможность «перекрытия» самого низкого уровня одного показателя качества более высоким уровнем других. На основании этого необходимо введение особой функции $\varphi(y_j)$ – коэффициент вето. Функция имеет следующий смысл $\varphi(y_j)$ – она должна убывать почти до нуля, как только значение y_j – любого j -го показателя качества выйдет за пределы допустимого интервала от $y_{\min}$ до $y_{\max}$, что приведет к снижению комплексной оценки K_0 качества управления. Этому условию в большей степени соответствует следующее выражение:

$$\varphi(y_j) = e^{-t};$$

$$t = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{y_j}{cy_{j\max}} \right)^{2a} + \left(\frac{y_{j\min}}{by_j} \right)^{2a} \right], \quad (4)$$

где c и b – положительные числа порядка 1,0001; a – положительное число порядка 10 000.

При вычислении с помощью ЭВМ комплексной величины оценки K_0 качества сравнительно просто реализуется следующее условие: $K_0 = D_G$ для всех j , если y_j входит в интервал от $y_{\min}$ до $y_{\max}$, и $K_0 = 0$ при всех остальных значениях y .

Необходимость введения коэффициента вето при одностороннем ограничении исследуемых показателей незначительно. Поэтому его функцию выполняет средняя геометрическая свертка. D_G значительно уменьшается при выходе хотя бы одного значения y_j за пределы $y_{j\min}$. Тогда в нашем случае справедливо следующее равенство:

$$K_0 = D_G. \quad (5)$$

Так как среди показателей качества могут присутствовать относительно мало важные, однако даже их очень низкие значения не должны приводить к уменьшению комплексной величины коэффициента K_0 . Это обстоятельство учтено в формуле (3) с помощью коэффициентов α_j . Соответственно, при использовании выражения для обобщенной функции Харрингтона и при соблюдении требований для коэффициентов вето α_j , возможно оптимизировать параметры процесса с учетом требований к качеству и стоимости.

Результаты расчета значений частной и обобщенной функции желательности

Номер образца	$x_1, \text{К}$	$x_2, \text{с}$	$x_3, \text{мм}$	$x_4, \text{мм}$	$y_1, \%$	d_1	$y_2, \text{МПа}$	d_2	$y_3, \text{кН/м}$	d_3	$y_4, ^\circ$	d_4	$y_5, \text{МПа}$	d_5	D_G
1	413	2400	3,0	2	0,15	0,68	2,70	0,22	17,8	0,53	180	0,80	4,0	0,05	0,42
2	428	600	3,0	1	0,07	0,80	2,00	0,02	13,0	0,12	109	0,48	3,1	0	0,06
3	423	1200	3,0	3	0,16	0,68	2,71	0,23	17,5	0,50	171	0,77	3,5	0	0,27
4	418	1800	3,0	4	0,12	0,73	3,06	0,40	17,7	0,52	180	0,80	3,7	0	0,41
5	418	1200	4,5	1	0,26	0,46	2,40	0,11	15,0	0,28	162	0,74	3,4	0	0,15
6	423	1800	4,5	2	0,13	0,72	3,35	0,53	18,2	0,56	145	0,67	4,0	0,05	0,53
7	413	600	4,5	3	0,72	0,00	1,20	0,00	10,0	0,01	93	0,39	2,0	0	0
8	428	2400	4,5	4	0,11	0,75	4,12	0,80	22,0	0,80	85	0,34	5,2	0,80	0,72
9	413	1800	6,0	1	0,40	0,15	2,43	0,12	16,4	0,40	141	0,65	3,5	0	0,10
10	428	1200	6,0	2	0,18	0,63	3,02	0,38	18,5	0,59	80	0,31	4,0	0,05	0,43
11	418	2400	6,0	3	0,23	0,53	3,27	0,50	18,5	0,59	127	0,58	4,4	0,29	0,51
12	423	600	6,0	4	1,14	0,00	1,72	0	13,0	0,12	79	0,30	2,8	0	0
13	423	2400	7,5	1	0,18	0,63	3,51	0,60	20,5	0,72	125	0,57	4,7	0,52	0,62
14	418	600	7,5	2	2,12	0,00	1,50	0	12,5	0,09	89	0,36	2,6	0	0
15	428	1800	7,5	3	0,19	0,61	3,60	0,64	20,6	0,73	81	0,31	4,7	0,52	0,59
16	413	1200	7,5	4	3,16	0,00	2,11	0,04	13,1	0,13	96	0,40	3,1	0	0

Анализ статистических сведений показывает, что все натуральные значения u_j имеют одностороннее ограничение и для них справедливо равенство (5). Таким образом, непосредственные значения обобщенной функции желательности могут представлять критерии управления качеством производственными процессами.

Для определения весовых коэффициентов α_j был проведен экспертный опрос с помощью методов ранжирования и последовательных сравнений, широко используемый при измерении уровня качества продукции. Согласование полученных весов было произведено по коэффициенту конкордации Кендэла. По уравнениям (1)–(3) определены режимы термической обработки, способствующие получению качественных и оптимальных по стоимости покрытий.

Результаты расчетов уровня качества управления процессом термообработки гуммировочного покрытия марки 2566 (НК и СКБ), выполненное на компьютере, приведено в табл. 1 (x_1 – температура термообработки, К; x_2 – продолжительность термообработки, с; x_3 – толщина покрытия, мм; x_4 – толщина основы, мм; $d_1 - d_5$ – частные функции желательности).

После полного анализа теоретико-экспериментальных данных с помощью ПВМ получено, что экономически эффективные режимы термообработки, при которых качество покрытий считается хорошим для резины 2566, соответствуют: $D_G = 0,72$ при $T = 428$ К, $\tau = 2400$ с, $\delta_{об} = 4,5$ мм, $\delta_{ст} = 4,0$ мм; для резины 1976 $D_G = 0,7$ при $T = 428$ К, $\tau = 2400$ с, $\delta_{об} = 7,5$ мм, $\delta_{ст} = 4,0$ мм; для полуэбонита 1752 $D_G = 0,7$ при $T = 428$ К, $\tau = 4500$ с, $\delta_{об} = 3$ мм, $\delta_{ст} = 4$ мм.

Рассмотренные подходы к расчету уровня качества управления производственным процессом получения гуммированных объектов подтверждают качественные показатели готовых эластомерных обкладок, такие как большая прочность крепления, высокая химическая стойкость, оптимальные значения предельных углов гибки и др., и, соответственно, обеспечивают высокую экономическую эффективность и конкурентоспособность производства.

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования доказывают, что обобщенная функция Харрингтона целесообразна для экспертных оценок режимов термообработки покрытий эффективных с экономической точки зрения. Она позволяет оптимизировать производственные процессы в установившихся и переходных

режимах как по технологическим, так и по экономическим параметрам, что является необходимым в условиях современной рыночной экономики. При этом происходит снижение риска потерь от коррозии и, кроме того, это способствует уменьшению факторов хозяйственных (локальных) рисков вообще.

Как видим, во-первых, все параметры и причины, которые влияют на качество, включают в себя экономическую составляющую и поиск рациональных соотношений между требуемыми затратами и получаемым эффектом, который должен реализовываться экономическими инструментами. Во-вторых, повышенный риск ситуации в рыночных отношениях диктует необходимость проявлять особый интерес на выбор наиболее оптимального, а значит, экономического критерия, который позволит провести оценку эффективности вводимых мероприятий: в нашем случае – использование функции желательности Харрингтона.

Список литературы

1. Окрепилов В.В. Экономика качества / В.В. Окрепилов. – СПб.: Наука, 2011. – 629 с.
2. Окрепилов В.В. Эволюция качества / В.В. Окрепилов. – СПб.: Наука, 2008. – 636 с.
3. Окрепилов В.В. Пространственное развитие и качество. Институт проблем региональной экономики РАН / В.В. Окрепилов. – СПб.: Наука, 2011. – С. 13–22.
4. Окрепилов В.В. Применение методов экономики качества при управлении развитием инновационного потенциала / В.В. Окрепилов, Н.В. Андросенко, И.В. Чудиновских // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 706–717.
5. Богатин Ю.В. Экономическая оценка качества и эффективности работы предприятия / Ю.В. Богатин. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 216 с.
6. Окрепилов В.В. Экономика качества как методологическая основа управления регионами / В.В. Окрепилов // Экономика и управление. – 2013. – № 1 (87). – С. 65–75.
7. Осипов Ю.Р. Технологические режимы при восстановлении гуммировочных покрытий с учетом технико-экономических критериев: монография / Ю.Р. Осипов, С.Ю. Осипов, С.А. Шлыков. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 163 с.
8. Осипов С.Ю. Системное моделирование полного цикла функционирования объектов с эластомерными покрытиями / С.Ю. Осипов, Ю.Р. Осипов, Д.А. Богданов, С.А. Шлыков // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 7. – С. 49–54.
9. Осипов С.Ю. Методы разработки и интенсификации режимов термообработки покрытий гуммированных объектов. Обзор / С.Ю. Осипов, Ю.Р. Осипов, Д.А. Богданов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2016. – № 3(72). – С. 15–20.
10. Полетаев В.П. Автоматизированный комплекс подготовки информации для оптимизации процессов на постпроизводственных стадиях жизненного цикла изделий / В.П. Полетаев // Автоматизация в промышленности. – 2017. – № 8. – С. 35–38.