Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1947 г.

Том 73

9
2019

Главный редактор

Микрин Е.А. – д.т.н., проф., академик РАН, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Афанасьев В.Н. – д.т.н., проф., МИЭМ НИУ ВШЭ
Басараб М.А. – д.ф.-м.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Большаков А.А. – д.т.н., проф., СПбГТИ (ТУ)
Булдакова Т.И. – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Ван Мэйлин – д.т.н., проф., Пекинский политехн. ун-т (КНР)
Зинченко Л.А. – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кларк Р. – д.т.н., проф., КИУ (г. Ворвик, Великобритания)
Криони Н.К. – д.т.н., проф., УГАТУ (г. Уфа)
Кузнецов А.Е. – д.т.н., проф., РГРТУ (г. Рязань)
Мальцева С.В. – д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. – д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. – д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. – д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»
Пролетарский А.В. – д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Проталинский О.М. – д.т.н., проф., НИУ МЭИ
Путилов В.Н. – ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"» (заместитель главного редактора)
Румянцева О.Н. – генеральный директор ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"»
Ся Юаньцин – д.т.н., проф., Пекинский политехн. ун-т (КНР)
Фу Ли – д.т.н., проф., Ин-т Бейхан (КНР)
Фёдоров И.Б. – д.т.н., проф., академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн – д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Чистякова Т.Б. – д.т.н., проф., СПбГТИ (ТУ)
Шахнов В.А. – д.т.н., проф., член-кор. РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шибанов Г.П. – д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова

Редакторы — **Мымрина И.Н., Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2.
Тел.: 8 (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Учредитель:

ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО "ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"»

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре 29 мая 2014 г. (ПИ № ФС77-58102), входит в перечень утверждённых ВАК при Минобрнауки России изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней, а также в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Акулёнок М.В., Тихонов М.Р. Сравнительный анализ автоматизированных систем управления рисками 387

Евстропов В.А. Расчёт переходной функции ненагруженного элемента Пельтье для охлаждения маломощных телевизионных передатчиков 391

Вернигоров Ю.М., Лебедев В.А., Фролова Н.Н., Лелетко К.К. Энергетические условия управления гранулометрическим составом продуктов измельчения высококоэрцитивных ферромагнетиков в магнитовибрирующем слое 396

Нурматов Н.З. Оптимизация процесса горения в промышленных котлах на основе нечёткой логики 401

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Железникова О.Е., Прытков С.В., Микаева С.А., Микаева А.С. К вопросу о преобразовании систем фотометрирования 406

Гусейнова М.В., Шарифова Б.А. Вопросы оптимизации вентилирования производственных помещений 411

Кабалдин Ю.Г., Колчин П.В., Шатагин Д.А., Аносов М.С. Применение цифровых двойников в аддитивных технологиях 414

Байнева И.И. Инновационные технологии в системах управления освещением 417

Елисеев В.А., Сажин В.А. Экспертиза в форсайт-исследованиях инновационного развития 421

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 432

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2019

Automation. Modern Technologies

MONTHLY INTERBRANCH SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

It is published since 1947

Volume 73 9 / 2019

Chief in Editor

Mikrin E.A. – dr.en.s., prof., academician of the RAS, RSC «Energy» behalf of S.P. Korolev

EDITORIAL COUNCIL:

Afanasyev V.N. – dr.en.s., prof., MIEM NRU HSE
Basarab M.A. – dr.ph.-m.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Bolshakov A.A. – dr.en.s., prof., SPbSIT (TU)
Buldakova T.I. – dr.en.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Wang Meiling – Ph.D., prof., Beijing Ins. of Technology, P.R. China
Zinchenko L.A. – dr.en.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Clark R. – Ph.D., prof., EMB of Warwick Un., UK
Krioni N.K. – dr.en.s., prof., USATU, Ufa
Kuznetsov A.E. – dr.en.s., prof., RSREU, Ryazan
Maltseva S.V. – dr.en.s., prof., NRU HSE
Mikaeva S.A. – dr.en.s., prof., MSUPI
Neusypin K.A. – dr.en.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Nefedov E.I. – dr.ph.-m.s., IRE RAS
Nikiforov V.M. – dr.en.s., prof., FSUE «NPCAP behalf of N.A. Pilyugin»
Proletarskiy A.V. – dr.en.s., prof., MSTU behalf of N.E. Bauman
Protalinsky O.M. – dr.en.s., prof., NRU MPEI
Putilov V.N. – LLC «Innovative Mashinostroenie» Publishers (deputy chief editor)
Rumyantseva O.N. – General Director of LLC «Innovative Mashinostroenie» Publishers
Xia Yuantsin – Ph.D., prof., Beijing Ins. of Technology, P.R. China
Fu Li – Ph.D., prof., Beikhan Un., P.R. China
Fedorov I.B. – dr.en.s., prof., academician RAS, President of MSTU behalf of N.E. Bauman
He Yung – Ph.D., prof., Nanjing Un. of Science and Technology, P.R. China
Chistyakova T.B. – dr.en.s., prof., SPbSIT (TU)
Shakhnov V.A. – dr.en.s., prof., corr. member of RAS, MSTU behalf of N.E. Bauman
Shibanov G.P. – dr.en.s., prof., State Flight Test Center behalf of V.P. Chkalov

Editors — **Mymrina I.N., Selikhova E.A.**
Computer layout — **Konova E.V.**

Editorial address:
107076, Moscow, Kolodezny lane – 2a, build. 2
Tel.: +7 (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Founder:

LLC «"INNOVATIVE MASHINOSTROENIE" PUBLISHERS»

The journal was registered in the Roskomnadzor on May 29, 2014 (PI No. FS77-58102), it is included in the list of publications approved by the Higher Attestation Commission (VAK) of the Russian Ministry of education and science for publication of the works of applicants for academic degrees and the system of the Russian index scientific citation (RINC)

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Akulenok M.V., Tikhonov M.R. Comparative analysis of automated risk management systems. 387

Evstropov V.A. Calculation of the transition function of the unloaded Peltier element for cooling low-power television transmitters. 391

Vernigorov Yu.M., Lebedev V.A., Frolova N.N., Leletko K.K. Energy conditions for controlling the granulometric composition of the grinding products of high-coercive ferromagnets in a magnetically vibrating layer 396

Nurmatov N.Z. Optimization of the combustion process in industrial boilers based on fuzzy logic 401

MODERN TECHNOLOGIES

Zheleznikova O.E., Prytkov S.V., Mikaeva S.A., Mikaeva A.S. On the conversion of photometric systems 406

Guseynova M.V., Sharifova B.A. Ventilation optimization problems of the industrial premises 411

Kabaldin Yu.G., Kolchin P.V., Shatagin D.A., Anosov M.S. The use of digital twins in additive technologies 414

Bayneva I.I. Innovative technologies in lighting control systems . . . 417

Eliseev V.A., Sazhin V.A. Expertise in foresight research of the innovative development 421

REVIEW OF PERIODICAL PRESS

On the journals pages 432

© «Innovative Mashinostroenie» Publishers, «Automation. Modern technologies», 2019

УДК 330.131.7:004.4

М.В. Акулёнок, канд. техн. наук, доц., **М.Р. Тихонов**
(Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва)
kurotenshi91@yandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

Обоснована необходимость (актуальность) дальнейшего изучения проблемы управления рисками по таким критериям, как результативность и эффективность данного процесса в его связи с действующими отечественными и международными стандартами, а также причин недостаточного внимания к данной проблеме. Приведены определения результативности и эффективности в соответствии с действующими нормативными актами, а также методика расчёта эффективности как функции от затрат или используемых ресурсов и интегральный метод расчёта эффективности с учётом числа методов её оценки, возможности комбинирования методов на этапах идентификации и анализа рисков, реализованных процедур процессов подготовки к оценке рисков, идентификации рисков, анализа рисков, сравнительной оценки и обработки рисков, затрат на внедрение и поддержание автоматизированной системы управления рисками. Рассмотрен ряд пригодных для автоматизации этапов процесса управления рисками инструментов, проведён их сравнительный анализ. Продемонстрирована структурная схема регулятора системы автоматического управления рисками на базе наиболее эффективной из выбранных по результатам анализа систем автоматизации управления рисками. Обоснован выбор системы KuroT Risks как одной из лучших среди существующих в настоящее время систем автоматизации управления рисками.

Ключевые слова: автоматизация; качество; оценка рисков; результативность; сравнительный анализ; управление; эффективность.

The further study necessity (relevance) of the risk management problems by such criteria as the efficacious and efficiency of particular process in its connection with existing domestic and international standards, as well as the reasons for insufficient attention to this problem, is substantiated. The definitions of efficacious and efficiency in accordance with regulatory acts, as well as methodology of calculating efficiency as a function of costs or resources used and an integral method of calculating efficiency, taking into account the number of methods for its evaluation, the possibility of methods combining at the stages of identification and risk analysis, implemented procedures preparing for risk assessment, risk identification, risk analysis, possibilities of the methods combining at the stages of identification and risk analysis, implemented procedures for risk preparing and assessment, risk identification, risk analysis comparative risk assessment and treatment, the costs of implementing and maintaining automated risk management system are adduced. A number of tools suitable for automation of the risk management process are considered, their comparative analysis is carried out. The block diagram of the risk automatic management system regulator on the basis of the most effective one selected from the results of the analysis of risk management automation systems is demonstrated. The choice of the KuroT Risks system as one of the best among at present existing risk management automation systems is justified.

Keywords: automation; quality; risk assessment; efficacious; comparative analysis; management; efficiency.

Требования ГОСТ Р ИСО 9001—2015 [1] в отношении процесса управления рисками в условиях высокой, динамично изменяющейся неопределённости не только актуальны, но и зачастую являются условием выживания предприятий и организаций. Они включают, с одной стороны, определение политики в области рисков, процедур и распределение ответственности, а с другой — разработку инфраструктуры управления рисками и интеграцию разработанных процедур во все производственные и технологические процессы.

Полноценное выполнение указанных требований и внедрение управления рисками в производственные и технологические процессы в настоящее время сдерживаются прежде всего отсутствием подготовленного персонала, владеющего методами оценки рисков; высокими трудозатратами на идентификацию, анализ и сравнительную оценку рисков; отсутствием

инструментов, позволяющих частично или полностью автоматизировать управление рисками, но при этом не усложняющих задачу и не требующих больших затрат.

В соответствии с международными стандартами ИСО серии 9000 важнейшими характеристиками управляемых процессов организации являются результативность и эффективность. Результативность (и эффективность) системы менеджмента качества (СМК) в целом определяется результативностью (и эффективностью) процессов жизненного цикла продукции (ЖЦП), управления ресурсами и управления деятельностью предприятия. При этом вопросы результативности и эффективности управления рисками в стандарте не отражены.

Результативность ГОСТ Р ИСО 9000 [2] определена как степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов. Результативностью могут считаться также приведение в исполнение, достижение (степень законченности действия), выполнение (степень исполнения) команды, обязанности (долга), назначения (цели), обещания.

Эффективность согласно ГОСТ Р ИСО 9000 — связь между достигнутыми результатами и использованными ресурсами. Такое определение предполагает, что эффективным может считаться процесс, результат которого при выполнении всех установленных требований не может быть достигнут при более низких затратах.

На практике эффективность рассматривается чаще всего как соотношение достигаемого результата и затрачиваемых ресурсов и определяется выражением

$$Э_З = \frac{Р}{З} \text{ или } Э_Р = \frac{Р}{Ф},$$

где $Э_З$, $Э_Р$ — затратная и ресурсная формы эффективности соответственно; Р — результат; З — затраты; Ф — ресурсы [3].

Достигаемый результат — это точность прогнозов, полнота идентификации рисков и в конечном счёте снижение неопределённости, уменьшение субъективности оценок. Смещение акцентов в сторону важности достигаемого результата зачастую приводит к путанице между показателями результативности и эффективности.

Затраты (ресурсы) — это не только финансовые ресурсы, но и, например, кадровые или временны́е издержки. Последние для управления рисками (как положительными, так и отрицательными) имеют большое значение.

Очевидно, что показатели эффективности должны учитывать не только достигаемый результат, но и соответствующие ресурсы.

Для средств автоматизации управления рисками такими показателями эффективности могут стать:

число реализованных методов оценки рисков (x_1);

наличие вертикального (последовательного) комбинирования методов на этапах идентификации и анализа рисков (x_2);

наличие горизонтального (параллельного) комбинирования методов на этапах идентификации и анализа рисков (x_3);

наличие реализованных процедур процесса «подготовка» (x_4);

наличие реализованных процедур процесса «идентификация рисков» (x_5);

наличие реализованных процедур процесса «анализ рисков» (x_6);

наличие реализованных процедур процесса «сравнительная оценка рисков» (x_7);

наличие реализованных процедур процесса «обработка рисков» (x_8);

затраты на внедрение системы (x_9 = 1 — низкие, x_9 = 2 — средние, x_9 = 3 — высокие);

затраты на поддержание системы (x_{10} = 1 — низкие, x_{10} = 2 — средние, x_{10} = 3 — высокие).

На основе выявленных показателей и общей формулы эффективности был разработан обобщённый показатель эффективности Э автоматизированных систем управления рисками:

$$Э = \frac{x_1^{1+x_2+x_3}(x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8)}{x_9 + x_{10}}.$$

Для анализа из всех имеющихся инструментов автоматизации управления рисками был выбран ряд пригодных для полной автоматизации этапов процесса управления рисками, среди которых:

SAP GRC Risk Management. В данной автоматизированной системе реализованы все процедуры подпроцессов управления рисками. Система содержит ограниченный набор методов, а именно три метода, комбинирование которых не предусмотрено [4];

Xoris. Целью системы управления операционными рисками Xoris являются выявление и наглядное представление «слабых мест» в бизнес-процессах, приводящих к финансовым потерям; помощь в построении эффективной

организационной структуры; прогнозирование возможного ущерба и планирование мероприятий, которые помогут оптимизировать работу предприятия, снизить расходы и обеспечить его устойчивое развитие [5];

BarnOwl enterprise risk management. Автоматизированная система управления рисками предприятия BarnOwl помогает определять, оценивать, отслеживать и сообщать о стратегических целях, рисках, результатах контроля и факторах, способствующих развитию предприятия [6];

Pims Risk — инструмент управления качеством, помогающий описывать, регистрировать и объединять риски. Система является интуитивно понятной и простой в использовании. Пользователи могут научиться идентифицировать риски предприятия и добавлять или редактировать их с использованием простых инструкций [7];

JCAD CORE Risk Management. Система является простой, но эффективной и может быть настроена для дублирования существующих единиц работ (экземпляров работ), ускорения процесса обучения персонала принципам управления рисками и обеспечения удобства использования. При использовании данной системы можно связать риски со стратегией, структурой отчётности и с другими документами, такими как возможности, недостатки и соответствие объектов предприятия предъявляемым требованиям [8];

IsoMetrix ERM. Компания IsoMetrix является ведущим поставщиком интегрированного программного обеспечения для управления рисками и обеспечения соответствия требованиям, предъявляемым к объекту управления. Разработчики считают, что надлежащее управление рисками и соблюдение требований приводят к созданию более прибыльных и устойчивых предприятий [9];

ProcessMAP. Используя систему ProcessMAP для сопоставления данных безопасности объектов управления с аналогичными данными прошлых периодов, специалисты по рискам и EHS (охрана труда и экология) получают доступ к функциям по снижению рисков и обеспечению безопасности на рабочем месте. Ключевые функциональные возможности, включая интеллектуальную аналитику, автоматизированные рабочие процессы и анализ причинно-следственных связей, приводят к снижению числа инцидентов, повышению производительности процессов и значительному снижению финансовых затрат [10];

SOXHUB. Система реализует простой способ сбора, организации и анализа данных о рисках, которые поступают из разных источников. В SOXHUB поддерживается единый, всегда обновляемый набор данных о рисках, что позволяет быстро проанализировать отношения риска и корреляции источников и последствий рисков [11];

Riskonnect. Система Riskonnect предлагает единое унифицированное технологическое решение, которое обеспечивает понимание всех стратегических и операционных рисков на предприятии и того, что делается для управления этими рисками, чтобы привести их в соответствие с переносимостью риска предприятием [12];

KuroT Risks. Система реализована в виде web-сервиса и доступна (при наличии логина и пароля) через глобальную сеть интернет. Данный инструмент имеет информационный раздел, содержащий сведения о различных методах оценки рисков, документах оценки рисков и стандартах, связанных с данной областью. Система KuroT включает в себя подсистему, которая формирует рекомендации на основе анализа введённых показателей объекта управления [13—15].

Результаты сравнительного анализа выбранных инструментов автоматизации управления рисками приведены в таблице.

Результаты сравнительного анализа инструментов автоматизации управления рисками

Инструмент автоматизации управления рисками	Показатель эффективности										
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	Э
SAP GRC Risk Management	3	0	0	1	1	1	1	1	3	2	3
Xoris	3	0	0	1	1	1	1	1	2	1	5
BarnOwl enterprise risk management	3	0	0	1	1	1	1	1	3	2	3
Pims Risk	3	0	0	1	1	1	1	1	1	2	5
JCAD CORE Risk Management	3	0	0	1	1	1	1	1	2	1	5
IsoMetrix ERM	3	0	0	1	1	1	1	1	3	1	3
ProcessMAP	3	0	0	1	1	1	1	1	2	1	5
SOXHUB	3	0	0	1	1	1	1	1	2	1	5
Riskonnect	4	0	0	1	1	1	1	1	2	2	5
KuroT Risks	31	1	0	1	1	1	1	1	1	2	>10

Анализ позволил выявить следующее:

1) число методов, реализованных в рассматриваемых системах, не превышает четырёх;

2) в большинстве систем реализовано три метода;

3) рассматриваемые системы содержат более двух методов каждая, что зачастую вызвано использованием матрицы причин и последствий;

4) системы в большинстве случаев имеют одинаковые наборы методов;

5) в рассматриваемых системах присутствуют различные модели управления рисками;

6) многие системы являются модулями больших систем управления, что влияет на этап подготовки процесса управления рисками;

7) в рассматриваемых системах присутствуют как web-сервисы, так и стационарные приложения;

8) в системах реализовано множество различных отчётов, которые являются графическим представлением данных систем;

9) почти во всех рассматриваемых системах реализованы процедуры всех подпроцессов управления рисками;

10) некоторые системы не содержат процедур этапа подготовки управления рисками, что может быть вызвано фиксированно заданными значениями шкал соответствия уровней риска значениям вероятности возникновения, тяжести последствий и вероятности обнаружения, отсутствием возможности указания заинтересованных лиц или невозможностью установления границ оценки;

11) в рассматриваемых системах отсутствует возможность комбинирования методов на этапах идентификации и анализа рисков;

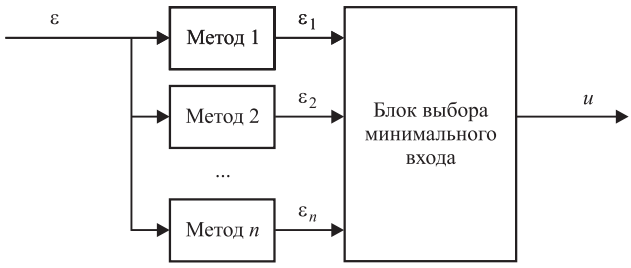
12) в большинстве систем отсутствует возможность выбора метода оценки рисков;

13) большинство систем являются зарубежными, что влияет на понимание процесса управления рисками при применении данных программных продуктов;

14) затраты на внедрение систем варьируются от 10 до 1000 $ за 1 экземпляр, из чего следует возможность охвата широкой доли рынка различными системами;

15) затраты на поддержание системы в среднем низкие, что связано с наличием инструкций и пояснений по автоматизированным системам, а следовательно, не требуется высокой подготовки специалиста-оператора по управлению рисками;

16) наибольшей эффективностью обладает система KuroT Risks. Это связано с тем, что в системе присутствует возможность комбинирования методов на этапах идентификации и анализа рисков, а также с тем, что в ней реализовано много методов оценки рисков.



Структурная схема регулятора системы автоматического управления рисками:

u — управляющее воздействие; ε — ошибка управления (разность запланированного и полученного выходных значений); ε_1, ..., ε_n — ошибки управления после обработки методами оценки рисков

Из сравнительного анализа следует, что точность автоматизированной системы управления рисками достигается путём подбора метода оценки рисков, который позволит максимально уменьшить ошибку управления (разность запланированного и выходного значений) и неопределённость.

Структурная схема регулятора системы автоматического управления рисками показана на рисунке. Из неё следует, что увеличение числа доступных методов увеличивает число вариаций управления, а тем самым повышает выборку и разброс выходных значений. Выбирающий блок при большей выборке может получить более низкие значения отклонения и тем самым получить цепь с высокой точностью управления.

Библиографические ссылки

1. **ГОСТ Р ИСО 9001—2015.** Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 32 с.

2. **ГОСТ Р ИСО 9000—2015.** Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2018. 49 с.

3. **Акуленок М.В., Никифорова-Денисова С.Н.** Управление экономикой качества. М., МИЭТ, 2012, 136 с.

4. **Автоматизация** системы управления рисками. Решение SAP GRC Risk Management [Электронный ресурс]. — URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/risk/russian/ru_sap__grc_risk_management_rus.pdf (дата обращения 16.02.2018).

5. **Система** управления рисками, управление банковскими рисками XORIS [Электронный ресурс]. — URL: http://www.xoris.ru (дата обращения 16.02.2018).

6. **BarnOwl** Enterprise Risk Management [Электронный ресурс]. — URL: http://www.barnowl.co.za/solutions/risk-management/ (дата обращения 16.02.2018).

7. **Pims** Risk Management [Электронный ресурс]. — URL: https://www.omega.no/omega-services/software/risk-management (дата обращения 16.02.2018).

8. **JCAD CORE** Risk Management Software [Электронный ресурс]. — URL: http://unbouncepages.com/jcad-core-risk-management-software (дата обращения 16.02.2018).

9. **IsoMetrix** [Электронный ресурс]. — URL: https://www.isometrix.com/ (дата обращения 16.02.2018).

10. **ProcessMAP** Enterprise Risk & Claims Management Software [Электронный ресурс]. — URL: http://www.processmap.com/solutions/risk-claims-management/ (дата обращения 16.02.2018).

11. **SOX** Management [Электронный ресурс]. — URL: https://www.soxhub.com/product/erm/ (дата обращения 16.02.2018).

12. **Riskonnect** Integrated Risk Management Solutions [Электронный ресурс]. — URL: https://riskonnect.com/ (дата обращения 16.02.2018).

13. **Тихонов М.Р.** Проектирование информационной системы оценки рисков комбинированными методами // Материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. «Информационно-вычислительные технологии и их приложения», Пенза, 2016. С. 68—71.

14. **Тихонов М.Р.** Модульная структура информационной системы KuroT Risks // Сб. тез. 24-й Всеросс. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика — 2017», М., 2017. С. 176.

15. **Тихонов М.Р.** Программа для ЭВМ KuroT Risks // Свид. 2017618827, Россия. Опубл. 10.08.2017. Реестр программ для ЭВМ.

Ссылка для цитирования

Акулёнок М.В., Тихонов М.Р. Сравнительный анализ автоматизированных систем управления рисками // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 387—391.

УДК 681.5.015

В.А. Евстропов
(Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан)
gelyazni@rambler.ru

РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ НЕНАГРУЖЕННОГО ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МАЛОМОЩНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

Приведён вывод переходной функции термоэлектрического модуля (ТЭМ) исходя из экспериментальных данных. Показано использование ТЭМ для охлаждения систем приёмников и передатчиков в условиях телевизионного вещания. Представлена структурная схема, соответствующая переходной функции. Полученная переходная функция введена в SCADA «Индрик».

Ключевые слова: моделирование процесса; SCADA; переходная функция; термоэлектрический модуль; элемент Пельтье; телевизионное вещание; вольт-амперная характеристика.

The transition function derivation of a thermoelectric module (TEM) based on experimental data is given. A description of the TEM usage for cooling systems of receivers and transmitters in the conditions of television broadcasting is shown. A block diagram corresponding to the transition function is introduced. The resulting transition function is in SCADA «Indrik» introduced.

Keywords: process modeling; SCADA; transition function; thermoelectric module; the Peltier element; television broadcasting; volt-ampere characteristics.

Введение. Действующая система цифрового телевизионного вещания состоит из следующих устройств: приёмник, передатчик, система жидкостного охлаждения, электросчётчик и представляет собой технологическую систему непрерывного вещания в доступном диапазоне частот, в пакетном режиме мультиплексирования. За один цикл передаётся определённое число пакетов данных мультиплекса.

В случае аналогового вещания в систему входят приёмник, передатчик, электросчётчик.

С развитием смещённо-диффузной металл-оксидной технологии (laterally diffused metal oxide semiconductor; LDMOS) [1, 2] мощность транзисторов, используемых в оконечных каскадах усилителей, постоянно увеличивается. В настоящее время пиковая мощность аналогового телевизионного сигнала, отдаваемая

транзистором, достигает 400...600 Вт, соответственно, мощность OFDM-сигнала (orthogonal frequency-division multiplexing) [3] достигает 90...120 Вт.

С другой стороны, КПД оконечных каскадов усилителей DVB-передатчиков (digital video broadcasting) не превышает 15...20 %, что обусловлено высоким пик-фактором цифрового сигнала и высокими требованиями к линейности усиления. В связи с этим на одно из первых мест выходит проблема обеспечения нормального теплового режима транзисторов.

В цифровых передатчиках мощностью выше 1000 Вт применяется жидкостная система охлаждения. В качестве системы охлаждения передатчиков мощностью до 1000 Вт предлагается использовать элемент Пельтье [4]. Для контроля и регулирования элемента необходимо разработать математическую модель системы, вывести переходную функцию, составить алгоритм работы модуля Пельтье как звена цепи.

Требования к контроллеру элемента Пельтье в условиях телерадиовещания. Элемент Пельтье представляет собой преобразователь энергии разницы температур в электричество либо наоборот. В качестве системы охлаждения предлагается использовать модуль PM-40X40-53 [5]. К его достоинствам можно отнести небольшие размеры, бесшумную работу, возможность плавного регулирования мощности охлаждения. В качестве недостатков следует отметить ограниченное число включений-выключений, низкий КПД.

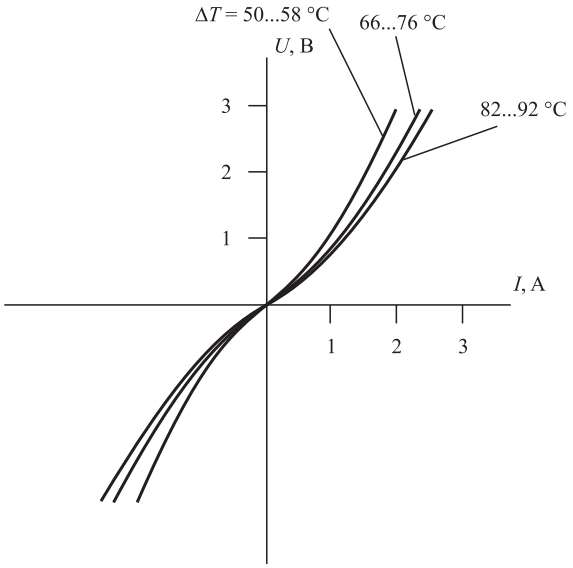


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика модуля PM-40X40-53 с учётом разницы температур холодного и горячего спаев ΔT

С учётом необходимости регулировки мощности элемента PM-40X40-53 сформулируем основные требования к контроллеру:

вольт-амперная характеристика модуля (рис. 1) нелинейна, следовательно, управление должно осуществляться регулированием мощности, а не тока или напряжения;

на модуль должен подаваться стабилизированный ток с низким уровнем пульсаций. В случае если пульсации превышают 5 %, резко снижается КПД модуля (~30...35 %). Ввиду недопустимости пульсаций необходимо использовать импульсный регулятор мощности с фильтром на выходе;

ввиду ограничения по числу включений-выключений нельзя использовать релейный регулятор. Мощность, подаваемая на элемент Пельтье, должна изменяться плавно, при этом регулятор должен держать модуль постоянно включенным в связи с круглосуточностью телерадиовещания;

система должна поддерживать температуру с заданной точностью;

математическое обеспечение регуляторов должно учитывать время реакции изменения температуры воздуха на изменение электрической мощности охлаждающего модуля, которое составляет около 10 мин;

необходимо проводить диагностику всех компонентов системы, в том числе расположенных вне контроллера.

Модуль Пельтье как звено электрической цепи. Вольт-амперная характеристика используемого модуля имеет вид

$$U = IR\left[1 + \frac{Z}{\alpha}\left(\Pi - 0,5IR\right)\right] - \frac{ZR}{\alpha}Q_0, \qquad (1)$$

где U — напряжение на термоэлектрическом модуле, В; I — ток термоэлемента модуля, А; R — сопротивление термоэлектрического модуля, Ом; Z — эффективность термоэлектрического модуля, 1/°С; α — коэффициент термоэдс, мВ/°С; П — коэффициент Пельтье, В; Q_0 — тепловая нагрузка на холодном спае термоэлемента модуля.

Анализ зависимости (1) показывает, что напряжение, прилагаемое к модулю, идёт на падение напряжения на сопротивлении термоэлемента и на преодоление термоэдс.

Переходной процесс для тока включения при постоянных параметрах скачка напряже-

ния термоэлектрического модуля аппроксимируется функцией вида

$$i(t) = I_{\max} - \left(I_{\max} - I_{\text{уст}}\right)\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{T_{\text{вх}}}}\right), \quad (2)$$

где $I_{\max} = U/R$ — максимальный ток термоэлектрического модуля, А; $I_{\text{уст}}$ — установившийся ток термоэлектрического модуля, А; t — время, с; $T_{\text{вх}}$ — постоянная времени входной цепи модуля.

Зависимость $i(t)$ отражает изменение тока при изменении питающего напряжения. Взаимное влияние средней температуры модуля и тока, через него проходящего, можно рассматривать как обратную связь входной и выходной цепей. Найдем изображение функции (2) в виде передаточной функции замкнутой системы

$$W_{\text{з}}(p) = \left[K_{\text{пр}} - \frac{K_{\text{пр}} - K'}{T_{\text{вх}}p + 1}\right], \quad (3)$$

где $K_{\text{пр}} = \frac{I_{\max}}{U} = \frac{1}{R}$; $K' = \frac{I_{\text{уст}}}{U}$.

Передаточная функция замкнутой системы может быть представлена в виде

$$W_{\text{з}}(p) = \frac{W_{\text{пр}}(p)}{1 + W_{\text{пр}}(p)W_{\text{о.с}}(p)}, \quad (4)$$

где $W_{\text{пр}}(p)$, $W_{\text{о.с}}(p)$ — передаточные функции прямой и обратной связей соответственно.

Приравняем (3) и (4). После преобразования получим передаточную функцию обратной связи

$$W_{\text{о.с}}(p) = -\frac{K_{\text{о.с}}}{T_{\text{о.с}}p + 1}, \quad (5)$$

где $K_{\text{о.с}} = \frac{1}{K_{\text{пр}}}$; $T_{\text{о.с}} = \frac{K_{\text{пр}}}{K'}T_{\text{вх}}$.

Характер обратной связи согласно выражению (5) является инерционным, знак «минус» в его правой части указывает на отрицательную обратную связь, которая является тепловой вследствие использования термоэлектрического модуля Пельтье. С увеличением тока, проходящего через модуль, плотность тока возрастает, соответственно, изменяется температура на обкладках. С изменением температуры изменяются параметры R, α, Z, П, что ведёт к увеличению начальной динамической крутизны вольт-амперной характеристики и, как следствие, уменьшению тока.

Модуль Пельтье как звено системы регулирования. Чтобы использовать модуль Пельтье как исполнительный элемент, необходимо знать его динамические свойства, т. е. определить его передаточную функцию. Учёт всех факторов, влияющих на состояние термоэлектрического модуля, весьма сложен, поэтому для качественной оценки его динамики рассмотрим упрощённую модель, представляющую собой однородный стержень, длиной l, сечением f с коэффициентом теплопроводности $\lambda = \frac{Kl}{f} = \frac{\alpha^2 l}{ZRf}$, объёмной теплоёмкостью $C = C_p\gamma$, удельным сопротивлением $\rho = \frac{Rf}{l}$, где C_p, γ — удельные теплоёмкость и плотность соответственно. Примем, что реальная вольт-амперная характеристика линеаризована, а теплоотвод от боковых поверхностей отсутствует.

Составим уравнение теплового баланса, которое учитывает:

теплоту, выделяющуюся в объёме fdx за время $d\tau$,

$$dQ_1 = I^2\frac{\rho}{f}dxd\tau;$$

теплоту, проходящую через сечение f в точке x за время $d\tau$,

$$dQ_2 = \lambda\frac{\partial\theta_x}{\partial x}fd\tau,$$

где θ_x — температура, °С;

теплоту, проходящую через сечение f в точке $x + dx$ за время $d\tau$,

$$dQ_3 = \lambda\frac{\partial\theta_{x+dx}}{\partial x}fd\tau;$$

теплоту, оставшуюся в объёме fdx за время $d\tau$,

$$dQ_4 = Cfdx\frac{\partial\theta}{\partial\tau}d\tau.$$

Таким образом, уравнение теплового баланса принимает вид

$$Cf\frac{\partial\theta}{\partial\tau}dxd\tau = \lambda\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}fd\tau dx + I^2\frac{\rho}{f}d\tau dx.$$

Представим это уравнение в упрощённом виде, введя коэффициенты $a = \frac{\lambda}{C}$ (температуропроводность модуля) и $b = \frac{\rho}{Cf^2 S_0^2}$ (S_0 — начальная динамическая крутизна вольт-амперной характеристики):

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau} = a\frac{\partial^2\theta}{\partial\tau^2} + bU^2. \qquad (6)$$

Введём начальные и граничные условия. Начальное условие имеет вид

$$\theta(0, x) = \theta_0 = 0.$$

Первое граничное условие определено режимом, в котором один из спаев термоэлемента поддерживается при постоянной начальной температуре:

$$\theta(\tau, x) = \theta_0 = 0.$$

Данное условие упрощает аналитическое решение задачи, но не вполне соответствует реальным физическим процессам.

Второе граничное условие можно вывести из уравнения теплового баланса, считая, что теплоотвод от рабочей поверхности не осуществляется, т. е. модуль работает на холостом ходу:

$$Cf\frac{\partial\theta}{\partial\tau}dxd\tau = \\ = \lambda\left.\frac{\partial\theta}{\partial x}\right|_{l-dx} fd\tau + U^2\frac{\rho}{S_0^2 f}dxd\tau + U\frac{\Pi}{S_0}d\tau.$$

При $dx \to 0$, т.е. $(l - dx) \to l$, приняв $\frac{\Pi}{\lambda f S_0} = A$, получим

$$-\frac{\partial\theta(\tau, l)}{\partial x} + AU = 0.$$

Применив преобразование Карсона — Хевисайда к исходному дифференциальному уравнению (6), получим

$$L''(\theta) = \int_0^\infty \frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}e^{-p\tau}d\tau = \frac{\partial^2}{\partial x^2}\int_0^\infty \theta e^{-p\tau}d\tau;$$

$$pL(\theta) = \int_0^\infty \frac{\partial^2\theta}{\partial\tau^2}e^{-p\tau}d\tau;$$

$$L(U^2) = \int_0^\infty U^2 e^{-p\tau}d\tau.$$

Следовательно,

$$L''(\theta) - \frac{p}{a}L(\theta) + \frac{b}{a}L(U^2) = 0;$$
$$L(0) = 0;$$
$$L'(\theta_l) + AL(U) = 0.$$

Решение данных уравнений представим в виде

$$L(\theta) = C_1 e^{\sqrt{\frac{p}{a}}x} + C_2 e^{\sqrt{\frac{p}{a}}x} + \frac{b}{p}L(U^2). \qquad (7)$$

При подстановке в выражение (7) граничных условий получим систему уравнений

$$C_1 + C_2 = -\frac{b}{p}L(U^2);$$
$$-C_1\sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) + C_2\sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(-\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) = -AL(U).$$

Определим коэффициенты C_1 и C_2:

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} -\frac{b}{p}L(U^2) & 1 \\ -AL(U) & \sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(-\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ -\sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) & \sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(-\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) \end{vmatrix}};$$

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & -\frac{b}{p}L(U^2) \\ \sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) & -AL(U) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ -\sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) & \sqrt{\frac{p}{a}}\exp\left(-\sqrt{\frac{p}{a}}l\right) \end{vmatrix}}.$$

Подставив выражения для коэффициентов C_1 и C_2 в выражение (7) и введя гиперболические функции, получим

$$L(\theta) = \frac{AL(U)\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{a}}x - \frac{b}{p}\sqrt{\frac{p}{a}}L(U^2)\mathrm{sh}\sqrt{\frac{p}{a}}(x-l)}{\sqrt{\frac{p}{a}}\mathrm{ch}\sqrt{\frac{p}{a}}l} + \\ + \frac{b}{p}L(U^2).$$

При $x = 1$

$$L(\theta_l) = \frac{AL(U)}{\sqrt{\frac{p}{a}}\operatorname{cth}\sqrt{\frac{p}{a}}l} + \frac{b}{p}L(U^2).$$

Если гиперболическую функцию котангенса представить в виде степенного ряда, область сходимости которого $0 < \sqrt{\frac{p}{a}}l < \pi$ и учесть, что для модуля l = 0,04 м и $\sqrt{a} = \sqrt{\frac{\lambda}{C}} = 0{,}157$, получим $\sqrt{p} \approx 2{,}8$.

Степенной ряд сходится, поскольку $\sqrt{\frac{p}{a}}l \leqslant 0{,}713$. При этом данный ряд знакочередующийся. Следовательно, ошибка от замены ряда первым членом составит не более

$$\frac{\frac{1}{3}\sqrt{\frac{p}{a}}l}{\frac{1}{l}\sqrt{\frac{a}{p}}} = 0{,}16\ \%.$$

Таким образом,

$$L(\theta_l) = AlL(U) + \frac{b}{p}\frac{L(U^2)}{L(U)}.$$

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{L(\theta_l)}{L(U)} = K_1 + \frac{K_2}{p}\frac{L(U^2)}{L(U)},$$

где $K_1 = Al = \frac{I - \frac{R}{S_0}}{\alpha}; K_2 = \frac{R}{c_p G S_0^2}$, G — масса модуля, г.

Заключение. Полученная переходная функция отражает нелинейную связь между входным напряжением и тепловой мощностью. На структурной схеме переходную функцию можно представить в виде параллельного соединения с усилительным и апериодическим звеньями (рис. 2).

Результаты расчёта, полученные аналитически, согласуются с физическим протеканием процесса — при включении модуля выделяется тепло, причём при отсутствии теплоотвода и постоянной мощности температура горячего спая неограниченно возрастает. Полученная переходная функция внесена в математический модуль SCADA-системы «Индрик», разрабатываемой автором.

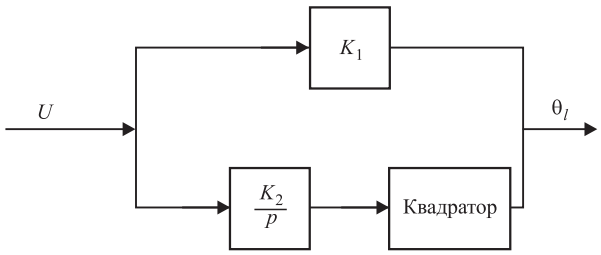


Рис. 2. Структурная схема ненагруженного модуля Пельтье

Библиографические ссылки

1. **RF-LDMOS:** A device Technology for High Power RF Infrastructure Applications / Burger W. et al. [Электронный ресурс] // IEEECSISSymposium. 2004. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1392533 (дата обращения: 06.06.2017).

2. **Design** of a Novel W-Sinker RF LDMOS / Xu Xiangming et al. [Электронный ресурс] // Advances in Condensed Matter Physics. 2015. URL: https://www.hindawi.com/journals/acmp/2015/312646/ (дата обращения: 01.06.2017).

3. **Попов А.С.** Оценка уровня помехоустойчивости одночастотных систем цифрового эфирного телевизионного вещания [Электронный ресурс] // Доклады ТУСУРа. 2013. № 3. URL: http://old.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2013-29-3/175.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

4. **Баукин В.Е., Винокуров А.В.** Инженерная методика расчета стационарных режимов термоэлектрических систем охлаждения // Термоэлектрики и их применения: Докл. VII Межгосударственного семинара. СПб., ФТИ, 2000. С. 267—272.

5. **PM-40X40-53** Perfomance Specifications [Электронный ресурс]. URL: http://www.tme.eu/ru/Document/9335f61120e2d0fe8fd64ee006604e34/pm-40x40-53.pdf (дата обращения: 03.06.2017).

Ссылка для цитирования

Евстропов В.А. Расчёт переходной функции ненагруженного элемента Пельтье для охлаждения маломощных телевизионных передатчиков // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 391—395.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу:
«Пресса России» — индекс **27838**.

УДК 62-911

Ю.М. Вернигоров, д-р техн. наук, проф., **В.А. Лебедев,** канд. техн. наук, проф,
Н.Н. Фролова, К.К. Лелетко
(Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону)
va.lebidev@yandex.ru

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ПРОДУКТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ В МАГНИТОВИБРИРУЮЩЕМ СЛОЕ

Представлены теоретические основы процесса управления гранулометрическим составом продуктов измельчения высококоэрцитивных ферромагнетиков. Предложена модель разрушения частиц в магнитовибрирующем слое, основанная на балансе энергии, получаемой ферромагнитной частицей от магнитного поля с учётом механических и магнитных характеристик материала, и энергии разрушения. Определено энергетическое условие, позволяющее обосновать параметры магнитного поля, обеспечивающие устойчивый режим магнитовибрирующего слоя для получения продуктов измельчения требуемого гранулометрического состава. Установлена связь эффекта разрушения частицы при ударе о стенку рабочего объёма и при соударении с другой частицей от параметров магнитного поля.

Ключевые слова: ферромагнетики; магнитное поле; магнитовибрирующий слой; измельчение; разрушение частиц; энергия.

The theoretical foundations of the process of controlling the granulometric composition of the products of grinding of highly coercive ferromagnetics are presented. A model for the destruction of particles in a magnetically vibrating layer, based on the energy balance obtained by a ferromagnetic particle from a magnetic field with the mechanical and magnetic characteristics of the material and the energy of destruction, is proposed. The energy condition has been determined, allowing to justify the parameters of the magnetic field. These parameters provide a stable mode of the magnetically vibrating layer to obtain grinding products of the required particle size distribution. A connection is established between the effect of particle damage upon impact against the wall of the working volume and upon collision with another particle from the magnetic field parameters.

Keywords: ferromagnetics; magnetic field; magnetically-vibrating layer; grinding; particle destruction; energy.

Введение. Развитие технологий измельчения материалов, усовершенствование машин и агрегатов, осуществляющих их измельчение различными способами, — актуальная проблема. Потребность в высокодисперсных порошках значительно превышает возможности «классических» мельниц тонкого помола, в которых разрушение частиц материала происходит вследствие ударных нагрузок. Ряд конструктивных и технологических недостатков вибрационных и аналогичных им мельниц препятствует созданию машин, в которых высокая эффективность помола сочеталась бы с технической надёжностью оборудования. В этой связи одним из перспективных направлений научного поиска решения этой проблемы является изучение разрушения частиц при динамическом способе нагружения [1].

Размол порошков ферромагнитных высококоэрцитивных материалов, которые обладают высокими значениями сил межчастичного взаимодействия магнитостатической природы, имеет свою специфику, которая требует разработки и внедрения специальных устройств и технологических приёмов при осуществлении тонкого помола таких материалов.

В гетерогенных системах ферромагнитных частиц воздействием электромагнитного поля обеспечивается образование магнитовибрирующего слоя (МВС), т. е. приведение частиц в состояние интенсивного движения. Магнитовибрирующий слой можно получить в однородном, вращающемся и неоднородном полях. Основные модельные представления магнитоожижения в однородном магнитном поле имеют вид монодисперсных систем сферических частиц с жёстко ориентированным магнитным моментом [2, 3].

Цель настоящих исследований — разработка модели разрушения частиц ферромагнитных материалов в магнитовибрирующем слое, обеспечивающей управление гранулометрическим составом высококоэрцитивных материалов при их измельчении.

Параметры магнитного поля, обеспечивающие устойчивый режим магнитовибрирующего слоя. Рассмотрим частицу дисперсной среды ферромагнитного материала в магнитном поле.

Пусть m — масса частицы, $\vec{P}_m$ — её магнитный момент. Частица движется в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, которое задано как суперпозиция двух полей: постоянного однородного с индукцией $\vec{B}_c$ и переменного неоднородного поля с индукцией $\vec{B}_\nu$, частотой ω. Причём силовые линии постоянного поля направлены вдоль оси OX, а силовые линии магнитных полей перпендикулярны друг другу $\vec{B}_c \perp \vec{B}_\nu$:

$$\vec{B} = \vec{B}_c + \vec{B}_\nu \cos(\omega t). \qquad (1)$$

Частицы дисперсной среды представляют собой сферы, поворот которых приводит к повороту магнитного момента. Подкачка энергии от поля осуществляется через поступательные и вращательные степени свободы частиц. Предположим, что $B_c \ll B_\nu$, так как в противном случае дисперсная система переходит в структурированное состояние.

Для определения энергии, передаваемой от внешнего переменного поля с градиентом $\frac{\partial B_\nu}{\partial y}$ частице среды, в одномерном случае без учёта сопротивления среды запишем уравнение поступательно-колебательного движения [4]:

$$m\ddot{y} = P\frac{\partial B_\nu}{\partial y}\sin\varphi_0 \cos(\omega t), \qquad (2)$$

где $\ddot{y}$ — ускорение поступательного движения частицы; $\varphi = \varphi_0 + \varphi_1$ — угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{P}$, φ_0 — угол между этими векторами в начальный момент времени (сразу после столкновения частиц).

Модуль вектора магнитной индукции исходя из взаимной перпендикулярности постоянного и переменного полей можно представить как

$$|\vec{B}| = \sqrt{B_c^2 + B_\nu^2 \cos^2(\omega t)}. \qquad (3)$$

Интегрируя уравнение (2) с учётом выражения (3), получим выражение для энергии, предаваемой полем частицам единицы объёма в единицу времени при поступательно-колебательном движении,

$$E_{\text{п-к}} = \frac{1}{2\pi}\frac{\left(P\partial B_\nu/\partial y\right)^2}{m\omega}.$$

Изменение ориентации магнитных моментов частиц между последовательными соударениями незначительно, что позволяет линеаризовать уравнения вращения магнитного диполя.

Для определения энергии, передаваемой от внешнего поля вращательным степеням свободы, запишем уравнения вращения без учёта сопротивления вращательному движению:

$$I\ddot{\varphi} = PB\sin\varphi, \qquad (4)$$

где I — момент инерции частицы.

Из уравнения (4) для скорости вращательного движения следует

$$\dot{\varphi} \approx \frac{PB_\nu}{I\omega}\sin\varphi_0 \sin\omega t. \qquad (5)$$

Считаем справедливым равенство

$$\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 + \dot{\varphi}_1(t) - \dot{\varphi}_1(t_0). \qquad (6)$$

Среднее количество энергии, передаваемое внешним полем вращательным степеням свободы одной частице за время $T/2$, получится усреднением $\frac{1}{2}I\left(\varphi' - \varphi_0'\right)^2$ при $t = t_0 + \frac{T}{2}$ по начальным значениям φ_0 и t_0 [5]. В результате энергия, передаваемая внешним полем частицам единицы объёма в единицу времени при вращательном движении, определяется по формуле

$$E_{\text{в}} = \frac{n}{2\pi}\frac{\left(PB_\nu\right)^2}{I\omega}, \qquad (7)$$

где n — числовая (счётная) концентрация частиц.

Полная энергия, передаваемая единице объёма в единицу времени, составит

$$E_{\text{в}} + E_{\text{п}} = \frac{n}{2\pi}\frac{P^2}{\omega}\left[\frac{B_\nu^2}{I} + \frac{1}{m}\left(\frac{\partial B_\nu}{\partial y}\right)^2\right]. \qquad (8)$$

Плотность диссипируемой мощности в единице объёма магнитоожиженного слоя рассчитывается по формуле

$$E \approx 6\varepsilon n\left(\frac{\lambda}{m} + \frac{\sigma}{I}\right), \qquad (9)$$

где ε — средняя энергия одной степени свободы; λ, σ — коэффициенты трения при поступательном и вращательном движении соответственно.

Для сферических частиц радиусом r при числах Рейнольдса меньше или порядка единицы имеем [6]

$$\lambda = 6\pi\eta r f(n);\ \sigma = 8\pi\eta r^3 f(n), \qquad (10)$$

где n — объёмная концентрация дисперсной фазы.

В формуле (10) $f(n)$ — функция, учитывающая влияние стеснённости частиц. Для низкоконцентрированных систем при $n < 0{,}2$ получено $f(n) = 1 - 5n/2$.

Для устойчивого процесса магнитоожижения диссипируемая и подводимая энергии должны быть равны:

$$\frac{nP^2}{2\pi\omega}\left[\frac{B_v^2}{I}+\frac{1}{m}\left(\frac{\partial B_v}{\partial y}\right)^2\right]=6\varepsilon n\left(\frac{\lambda}{m}+\frac{\sigma}{I}\right). \quad (11)$$

Равенство (11) получено в предположении доминирования вязкого механизма диссипации и позволяет определить пороговое значение градиента индукции поля, обеспечивающее устойчивый режим магнитокипения:

$$\left(\frac{\partial B}{\partial y}\right)^2=\frac{12\pi\omega m}{P^2}\varepsilon\left(\frac{\lambda}{m}+\frac{\sigma}{I}\right)-\frac{m}{I}B_v^2. \quad (12)$$

Условие разрушения частицы при ударе о стенку рабочего объёма. Предположив, что порозность частиц в магнитовибрирующем слое высока, можно считать, что соударения между ними отсутствуют. При этом следует ожидать разрушения частиц только при соударении со стенками объёма, в который они помещены. Кроме того, считаем, что размеры рабочего объёма и частота поля таковы, что время пролёта частиц от одной стенки к другой соответствует времени $T/2$ [6].

При измельчении способами раздавливания, раскалывания и удара затраты энергии $E_р$ на разрушение сферической частицы при степени измельчения $Z_и$ качественно следуют гипотезе В.Л. Кирпичёва [7], согласно которой

$$E_р=\frac{\pi\sigma^2 d_к^3}{12E}(Z_и^3-1), \quad (13)$$

где σ — предел прочности при разрушении материала; $d_к$ — конечный диаметр частицы; $Z_и=\frac{d_н}{d_к}$ — степень измельчения материала; $d_н$ — начальный диаметр частицы; E — модуль Юнга материала.

Разрушение частиц будет наблюдаться при условии

$$E_р=E_{п\text{-}к}\frac{T}{2},$$

где $E_{п\text{-}к}$ — энергия, предаваемая полем частицам единицы объёма в единицу времени при поступательно-колебательном движении (показано в предыдущем подразделе), определяемая формулой

$$E_{п\text{-}к}=\frac{1}{2\pi}\frac{\left(P\partial B_v/\partial y\right)^2}{m\omega}. \quad (14)$$

С учётом выражений (13) и (14) можно записать

$$\frac{\pi\sigma^2 d_к^3}{12E}(Z_и^3-1)=\frac{P^2}{2\pi m\omega}\left(\frac{\partial B_v}{\partial y}\right)^2\frac{T}{2}. \quad (15)$$

Выражение (15) можно представить в виде

$$\frac{\sigma^2 d_к^3(Z_и^3-1)}{E}=\frac{J^2 d_н^3\left(\frac{\partial B_v}{\partial y}\right)^2}{\rho\omega^2}. \quad (16)$$

При этом принято, что

$$P=\frac{J\pi d_н^3}{6},$$

где J — намагниченность материала частицы; $m=\frac{\rho\pi d_н^3}{6}$; ρ — плотность материала частицы; $\frac{T}{2}=\frac{\pi}{\omega}$.

После несложных преобразований выражение (16) приобретет вид

$$Z_и=\left[1-\frac{EJ^2}{\rho\omega^2\sigma^2}\left(\frac{\partial B_v}{\partial y}\right)^2\right]^{-1/3}. \quad (17)$$

Обозначим

$$\frac{EJ^2}{\rho\omega^2\sigma^2}=N.$$

Коэффициент N зависит только от механических и магнитных характеристик материала частиц, а также от частоты переменного поля. С учётом принятых обозначений выражение (17) можно записать в виде

$$Z_и=\sqrt[3]{\frac{1}{1-N\left(\frac{\partial B_v}{\partial y}\right)^2}}. \quad (18)$$

Из полученного соотношения видно, что с ростом градиента индукции электромагнитного поля степень измельчения материала растёт. Предполагаем, что коэффициент N для различных магнитных материалов существенно изменяется при фиксированной частоте за счёт изменения механических и магнитных характеристик. Результаты расчёта для различных значений N представлены на рис. 1. Анализ кривых на рис. 1 позволяет сделать вывод, что для сильномагнитных материалов либо для материалов, имеющих невысокий предел прочности при разрушении, измельчение частиц при единичном акте соударения начинается в полях с градиентом индукции порядка десятых долей (Тл/м) (рис. 1, *б*). Например, для феррита бария намагниченность J = 320·10^3 А/м,

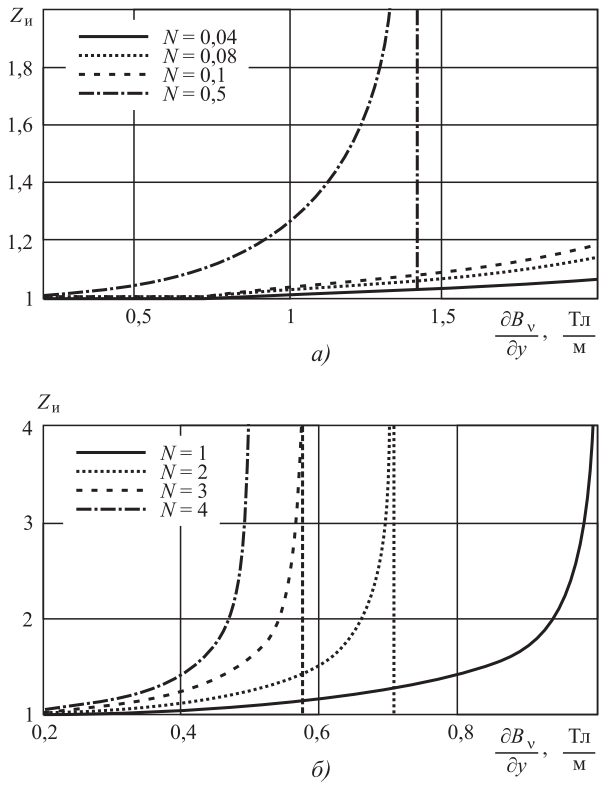


Рис. 1. Зависимость степени измельчения частиц от градиента индукции магнитного поля частотой 50 Гц:

а — $\frac{\partial B_v}{\partial y}$ = 0,5...2 Тл/м; N = 0,04...0,5 $А^2 \cdot с^4 \cdot м^2/кг^2$;

б — $\frac{\partial B_v}{\partial y}$ = 0,2...1 Тл/м; N = 1...4 $А^2 \cdot с^4 \cdot м^2/кг^2$

модуль Юнга $E = 1{,}9 \cdot 10^{11}$ Н/м^2, плотность $\rho = 5{,}1 \cdot 10^3$ кг/м^3, прочность на разрушение $\sigma = 3 \cdot 10^7$ Н/м^2 [8], коэффициент $N = 0{,}04$. При этом уменьшение диаметра частиц в 1,1 раза происходит в полях с градиентом индукции 0,4 Тл/м, а в 1,5 раза — 1,25 Тл/м.

Следует отметить, что для каждого материала существует значение градиента индукции, при котором происходит интенсивное разрушение частиц. Например, для $N = 1$ $А^2 \cdot с^4 \cdot м^2/кг^2$ эффективное разрушение частиц наступает при градиенте индукции 0,6...,7 Тл/м, а при $N = 2$ $А^2 \cdot с^4 \cdot м^2/кг^2$ такой же процесс реализуется в полях с градиентом индукции 0,4...0,5 Тл/м.

Условие разрушения частицы при соударении с другой частицей. Предположим, что при соударении разновеликих частиц в магнитовибрирующем слое разрушается одна из частиц и топология магнитного поля такова, что энергия передаётся только на поступательные степени свободы [9]:

$$E_{п\text{-}к} = \frac{1}{2\pi} \frac{\left(P \partial B_v / \partial y\right)^2}{m\omega}. \qquad (19)$$

Кроме того, процесс взаимодействия сферических частиц считаем происходящим в пределах половины периода, т. е. $T/2 = \pi/\omega$.

С учётом принятых допущений разрушение частиц происходит при выполнении следующего условия:

$$\frac{1}{2\pi} \frac{(P_m \partial B_v / \partial y)^2}{m\omega} \frac{\pi}{\omega} + \frac{1}{2\pi} \frac{(P_M \partial B_v / \partial y)^2}{M\omega} \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi \sigma^2 D_к^3}{12E} \left(\frac{D_н^3}{D_к^3} - 1 \right), \qquad (20)$$

где $P_m = \frac{J \pi d^3}{6}$ — магнитный момент первой частицы; d — диаметр первой частицы; $m = \frac{\rho \pi d^3}{6}$ — масса первой частицы; ρ — плотность материала; $P_M = \frac{J \pi D_н^3}{6}$ — магнитный момент второй частицы; $D_н$ — начальный диаметр второй частицы; $D_к$ — конечный диаметр второй частицы; $M = \frac{\rho \pi D_н^3}{6}$ — масса второй частицы; J — намагниченность материала.

В выражении (20) первое слагаемое есть энергия, передаваемая магнитным полем за половину периода первой частице, второе слагаемое — энергия, передаваемая второй частице. Преобразовав выражение (20), найдём соотношение между начальными размерами разрушаемой частицы и градиентом индукции поля:

$$D_н = \sqrt[3]{\frac{d^3 \left(\frac{\partial B_v}{\partial y} \right)^2 + K D_к^3}{K - \left(\frac{\partial B_v}{\partial y} \right)^2}}, \qquad (21)$$

где $K = \frac{\rho \sigma^2 \omega^2}{J^2 E}$ — константа, зависящая от механических и магнитных свойств материала и частоты переменного поля.

Соотношение (21) позволяет определить градиент индукции поля, при котором разрушается частица диаметром $D_н$ до частицы диаметром $D_к$ при условии, что произошло соударение между частицами диаметрами $D_н$ и d. Задавая конечный размер частицы, которая определяет тонину помола, из соотношения (21) определяем, при каких полях реализуется помол с заданным гранулометрическим составом. Для феррита бария в интервале размеров частиц 1...100 мкм отделение частицы размером 0,5...10 мкм происходит в полях с одинаковым градиентом индукции (рис. 2, кривая *1*). Взаимодействие частиц размером 100 мкм с частицами размером более 50 мкм приводит к их дроблению на частицы с размерами в пределах 50 мкм (рис. 2, кривая *2*).

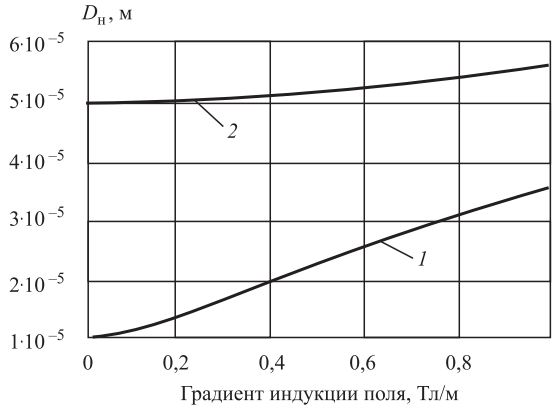


Рис. 2. Значения градиента индукции поля, при которых наступает разрушение частиц феррита бария диаметром 100 мкм:
1 — до размеров 0,5...10 мкм; *2* — до размеров >50 мкм

Режимы магнитовибрирующего слоя при помоле порошка $SmCo_5$

Постоянный ток, А	Переменный ток, А	Время, мин	Постоянное напряжение, В	Переменное напряжение, В	Номер пробы
0,7	10	20	10	62	7-1
0,7	10	40	10	62	7-2
0,7	10	60	10	62	7-3
0,8	10	20	10	62	7-4
0,8	10	40	10	62	7-5
0,8	10	60	10	62	7-6
0,9	10	20	10	62	7-7
0,9	10	40	10	62	7-8
0,9	10	60	10	62	7-9

В таблице приведены примеры режимов магнитовибрирующего слоя при помоле порошка $SmCo_5$. В барабан загружался порошок $SmCo_5$, масса которого контролировалась весами. По истечении определённого времени проводились отбор пробы по ГОСТ 23148—98 и анализ гранулометрического состава по ГОСТ 23402—78. Аппроксимирующая кривая исходного гранулометрического состава порошка характеризуется медианой $x_c = 10{,}68$ и дисперсией $w = 0{,}43$.

В результате проведённого эксперимента установлено, что, например, через 20 мин помола медиана x_c уменьшилась до 7,2, дисперсия $w = 0{,}45$; через 40 мин медиана $x_c = 6{,}48$, дисперсия $w = 0{,}696$. Таким образом, в течение 40 мин происходит уменьшение размеров частиц порошка в 1,65 раза за счёт ударного взаимодействия.

Заключение. Проведённые исследования и полученные при этом энергетические условия являются исходной базой для управления процессом и разработки технологического регламента получения высококоэрцитивных ферромагнетиков с требуемыми гранулометрическими характеристиками при их измельчении в магнитовибрирующем слое.

Основным механизмом измельчения частиц в устройствах с магнитовибрирующим слоем является эффект, обусловленный их разрушением при соударении со стенкой рабочей камеры. Дополнительный эффект измельчения обеспечивается за счёт разрушения частиц при соударении друг с другом. В совокупности эти явления, протекаемые в рабочей камере под воздействием магнитного поля, определяют качество состава высококоэрцитивных ферромагнетиков и производительность процесса.

Установленная в результате исследований модель разрушения частиц в магнитовибрирующем слое, основанная на балансе энергии, получаемой ферромагнитной частицей от магнитного поля с учётом механических и магнитных характеристик материала, и энергии разрушения, позволяет обосновать пороговое значение градиента индукции и параметры магнитного поля, обеспечивающие устойчивый режим магнитовибрирующего слоя для получения продуктов измельчения требуемого гранулометрического состава.

Библиографические ссылки

1. **Белов Н.Н., Югов Н.Т., Копаница Д.Г.** и др. Динамика высокоскоростного удара и сопутствующие физические явления. Томск: STT, 2005. 360 с.

2. **Буевич Ю.А., Болога М.К., Сюткин С.В., Тетюхин В.В.** О движении частиц при магнитоожижении в переменном поде // Магнитная гидродинамика. 1985. № 3. С. 3—12.

3. **Буевич Ю.А., Сюткин С.В., Тетюхин В.В.** К теории развитого магнитоожиженного слоя // Магнитная гидродинамика. 1984. № 4. С. 3—11.

4. **Бейтмен Г., Эрдейн А.** Высшие трансцендентные функциии. М.: Наука, 1964.

5. **Членов В.А., Михайлов Н.В.** Виброкипящий слой. М.: Наука, 1972. 146 с.

6. **Вернигоров Ю.М., Фролова Н.Н.** Разрушение частиц ферромагнитного материала в магнитовибрирующем слое с высокой порозностью // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 11. № 7 (58). С. 1127—1131.

7. **Кирпичёв В.Л.** Беседы о механике. М., Л.: Гостехиздат, 1951. 360 с.

8. **Злобин В.А., Андреев В.А., Звороно Ю.С.** Ферритовые материалы. Л.: Энергия, 1970. 112 с.

9. **Кочубей А.А., Лебедев В.А., Вернигоров Ю.М.** Упрочнение длинномерных деталей во вращающемся электромагнитном поле. Ростов н/Д: ДГТУ, 2018. 135 с.

Ссылка для цитирования

Вернигоров Ю.М., Лебедев В.А., Фролова Н.Н., Лелетко К.К. Энергетические условия управления гранулометрическим составом продуктов измельчения высококоэрцитивных ферромагнетиков в магнитовибрирующем слое // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 396—400.

УДК 681.53

Н.З. Нурматов
(Астраханский государственный технический университет)
materbiu94@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЛАХ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Управление процессами сгорания во многом определяет эффективность работы энергоустановки, а следовательно, и вызываемое ею загрязнение окружающей среды. Предложена оптимизация управления процессами горения на промышленных энергоустановках за счёт использования нечётких алгоритмов управления. Рассмотрена практическая реализация такой оптимизации, благодаря которой экономится топливо и уменьшается загрязнение окружающей среды. Построена база лингвистических правил для входных и выходных переменных. С помощью программного обеспечения MATLAB осуществлено моделирование нечёткого ПИД-регулятора и классического ПИД-регулятора. Оно показало, что нечёткий ПИД-регулятор обладает высокой устойчивостью к помехам, гибкостью и адаптивностью, а также более высокой точностью управления процессом горения.

Ключевые слова: нечёткий ПИД-регулятор; нечёткое управление; процесс горения; адаптивность.

The management of combustion processes largely determines the efficiency of the power plant and the environmental pollution caused by it. Optimization of combustion control is proposed for industrial power plants due to the use of fuzzy control algorithms. The practical implementation of such optimization is considered. In this case, the fuel is saved and environmental pollution decreases. The base of linguistic rules for input and output variables is built. The simulation of the fuzzy PID controller and the classical PID controller was carried out using the software MATLAB. It is shown that the fuzzy PID controller has a high immunity to interference, flexibility and adaptability, as well as higher accuracy control of the combustion process.

Keywords: *fuzzy PID controller; fuzzy control; burning process; adaptability.*

Энергоустановки являются основными источниками загрязнения окружающей среды. При сжигании топлива образуются токсичные продукты сгорания: оксид азота, углерод и сера. С ростом энергопотребления увеличиваются их выбросы в окружающую среду. Негативное воздействие энергоустановок на окружающую среду может быть снижено путём оптимизации процесса сгорания. Однако существующие методы оценки влияния стабильности сгорания топлива на вредные выбросы в окружающую среду либо неэффективны, либо их использование слишком дорого и требует много времени. Проблему минимизации вредных выбросов в окружающую среду можно решить путём оптимизации процесса сжигания топлива на энергоустановке с использованием нечёткой логики управления. Эта проблема относится к классу проблем, не имеющих простого аналитического решения. Кроме того, сложность необходимых при её решении вычислений экспоненциально возрастает с увеличением числа входных параметров. Одним из возможных решений является построение на основе нечёткой логики гибкой математической модели, функционирование которой определяется конечным числом параметров. Использование нечёткой логики в задачах оптимизации процесса горения является перспективным направлением.

Минимизация вредных выбросов в окружающую среду также возможна с помощью адаптивного контроля эксплуатационных параметров процесса сгорания топлива (температуры, соотношения воздух — топливо и т. д.). Для синтеза систем оптимального управления разработан ряд методов: методы, основанные на классическом исчислении, динамическом программировании, принципе максимума и т. д. При попытках создать оптимальные контроллеры с использованием этих методов сталкиваются с рядом фундаментальных трудностей, основной из которых является необходимость знать точную математическую модель объекта управления и уметь контролировать все переменные состояния системы [1]. Нали-

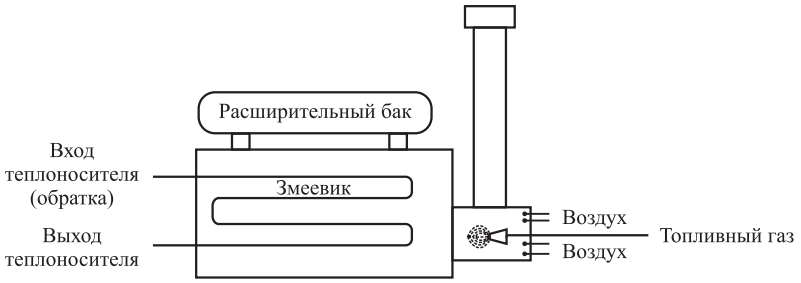


Рис. 1. Структурная схема подогревателя газа ПГ-500

чие точной математической модели позволяет находить оптимальные значения входного набора характеристик для минимизации выходных параметров, что используется в автоматических системах управления для нахождения оптимальной комбинации управляющих воздействий, обеспечивающих эффективность работы энергоустановки [2].

В данной работе основным объектом исследования является процесс горения топлива, а его определяющим параметром в энергетических установках — концентрация оксида углерода, от которой зависит полнота сгорания топлива и, соответственно, количество вредных выбросов в окружающую среду, а также КПД установки. Рассматривается возможность использования нечёткого ПИД-регулятора для оптимизации процесса сжигания топлива в топочной камере газового котла ПГ-500 типа «водяная баня», входящего состав установки предварительной подготовки газа (УППГ) Астраханского газоконденсатного месторождения. Энергоустановка имеет тепловую мощность 500 кВт и использует природный газ в качестве топлива (рис. 1). Котёл предназначен для нагрева теплоносителя и распространения его в систему обогрева контрольно-измерительных приборов УППГ, линий отбора давления, дренажных линий в целях предотвращения гидратообразоания, а также в систему отопления инженерных зданий и технологических сооружений на территории УППГ.

Система автоматического управления (САУ) котла построена на основе программно-логического контроллера (ПЛК) и предназначена для поддержания температуры теплоносителя на заданном уровне. В котле установлена инжекционная атмосферная горелка с системой автоматического розжига и контроля наличия пламени. Топливная линия горелки оборудована регулирующим клапаном с электроприводом и обратной связью, а также датчиками давления для контроля аварийного повышения или понижения давления топливного газа. Горелка оборудована шибером с электроприводом для регулирования подачи воздуха в смесительную камеру.

Для режимно-наладочных работ и выявления оптимального режима работы котла были проведены замеры концентрации компонентов дымовых газов с помощью газоанализатора Testo 350 XL. С помощью ПЛК задавали степень открытия регулирующего клапана топливной линии, тем самым выставляли определённое давление топливного газа. Экспериментальным путём, основываясь на опыте оператора, задавали положение шибера подачи воздуха. В процессе настройки шибера учитывали такие качественные показатели, как пульсация и отрыв пламени, цвет пламени, вибрация. Результаты измерений показаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения концентрации компонентов дымовых газов газоанализатором

$P_{вх}$, МПа	L, мм	CO, ppm	NO_x, ppm	O_2, %	$t_{ух.газов}$, °C	CO (α = 1), мг/м^3	NO_2 (α = 1), мг/м^3
0,005	20	700	12	15	85	3063	86
	21	550	13	14,9	84	2367	92
	22	200	12	14,9	85	861	85
	23	41	14	14,9	87	176	99
	24	20	15	14,8	88	85	104
0,012	27	550	16	12,9	98	1782	85
	29	120	21	12,6	100	375	102
	30	73	21	12,1	100	216	108
	31	60	27	11,5	100	166	122
	32	15	30	11,5	101	41	136
0,021	28	229	26	11,2	120	613	114
	29	44	30	10,9	120	14	128
	30	14	32	10,9	121	68	136
	31	27	32	10,5	121	36	143
	32	12	40	9,3	121	27	147
0,029	29	102	33	9,3	128	229	121
	30	44	33	9,4	128	100	122
	31	23	36	9,4	128	52	134
	32	10	40	9	129	22	144
	33	7	44	8,5	129	15	152

Окончание табл. 1

$P_{вх}$, МПа	L, мм	CO, ppm	NO_x, ppm	O_2, %	$t_{ух.газов}$, °C	CO (α = 1), мг/м^3	NO_2 (α = 1), мг/м^3
0,04	30	244	31	8	136	493	103
	32	50	38	8,2	135	103	128
	34	7	43	7,8	135	14	140
	35	6	50	6,5	134	11	148
	36	5	53	6,6	131	9	158
0,049	29	230	35	6,5	127	416	104
	30	3	57	5	133	5	153
	31	5	57	6,9	130	9	174
	32	8	50	4,6	124	13	131
	33	25	37	2,4	115	35	86

Обозначения: $P_{вх}$ — входное давление газа; L — положение шибера воздушной заслонки; CO — концентрация угарного газа в дымовых газах; NO_x — концентрация оксидов азота в дымовых газах; O_2 — концентрация кислорода в дымовых газах; $t_{ух.газов}$ — температура дымовых газов; CO (α = 1) — концентрация угарного газа в 1 мг/м^3 при коэффициенте избытка воздуха α = 1; NO_2 (α = 1) — концентрация диоксида азота в 1 мг/м^3 при α = 1.

Концентрация кислорода в дымовых газах зависит не только от интенсивности инжекции воздуха, но и от других условий эксплуатации: неконтролируемого всасывания воздуха; изменения характеристик горелок во время работы; неправильного соотношения расходов топлива и воздуха; изменения теплотворной способности топлива; колебания влажности воздуха [3].

Изучение процессов сгорания газообразного и жидкого топлива показывает, что недостаток кислорода в горелке проявляется резким увеличением концентрации угарного газа (CO) в дымовых газах. Соответственно, система управления сгоранием, основанная на измерении концентрации CO, будет иметь высокую чувствительность к отклонению режима сгорания от оптимального. Регулирование в этом случае сводится к поддержанию режима на грани химического недожога, что позволяет учитывать изменение большинства других факторов, влияющих на качество сгорания топлива. По данным, приведённым в табл. 1, можно определить тот момент, когда уменьшение концентрации CO в дымовых газах начинает постепенно приводить к увеличению концентрации оксидов азота NO_x (NO и NO_2).

Для создаваемой системы нечёткого управления в качестве входных переменных рассмотрим две нечёткие лингвистические переменные: $Q_{CO} = \{q_{NS}, q_Z, q_{PS}\}$ — концентрация оксида углерода (CO) в дымовых газах с термами «низкая концентрация», «нормальная концентрация (в пределах нормы)», «высокая концентрация» соответственно; $V_Q = \{v_{NS}, v_Z, v_{PS}\}$ — скорость изменения концентрации оксида углерода с термами «отрицательная скорость», «равна нулю», «положительная скорость» соответственно. Функции принадлежности нечётких множеств q_{NS}, q_Z, q_{PS} приведены на рис. 2.

Скорость изменения концентрации оксида углерода характеризуется разностью концентраций CO в дымовых газах, приходящейся на единицу времени. Следовательно, эта скорость будет иметь положительный знак при увеличении концентрации CO и отрицательный знак при её уменьшении. При постоянной концентрации CO или минимальных её изменениях скорость будет равна нулю. Функции принадлежности нечётких множеств v_{NS}, v_Z, v_{PS} приведены на рис. 3.

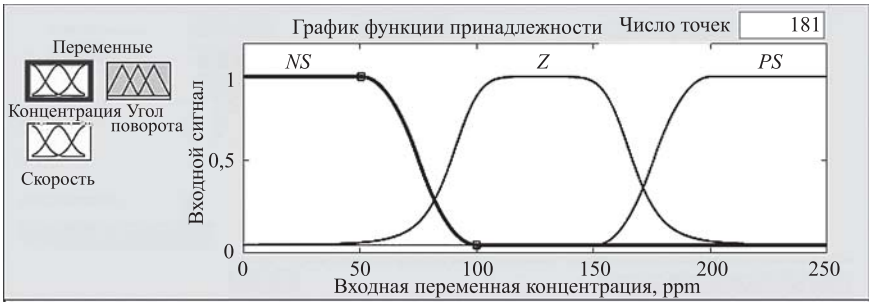


Рис. 2. Функция принадлежности для термов входной лингвистической переменной концентрация CO

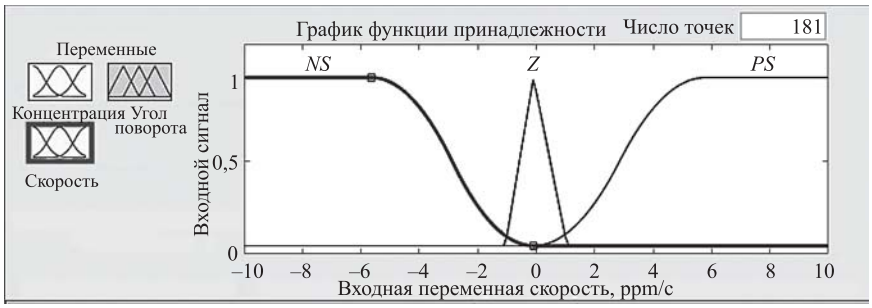


Рис. 3. Функция принадлежности для термов входной лингвистической переменной скорость изменения CO

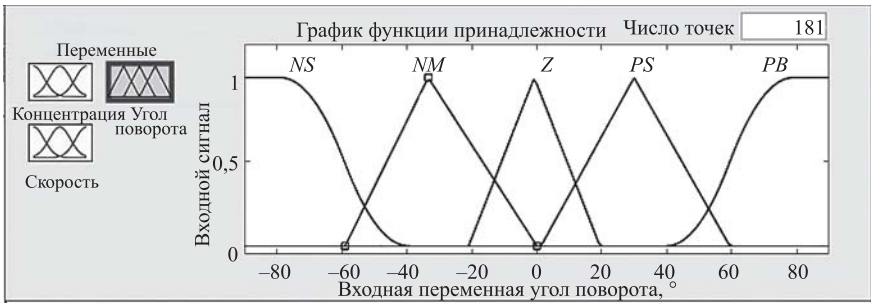


Рис. 4. Функция принадлежности для термов входной лингвистической переменной угол поворота

Выходная лингвистическая переменная, характеризующаяся углом поворота регулятора сервопривода воздушной заслонки $\bar{A} = \{\bar{a}_{NS}, \bar{a}_{NM}, \bar{a}_Z, \bar{a}_{PS}, \bar{a}_{PB}\}$, имеет следующие термы: «большой угол влево», «небольшой угол влево», «не поворачивать», «небольшой угол вправо», «большой угол вправо» соответственно. Функции принадлежности нечётких множеств $\bar{a}_{NB}, \bar{a}_{NM}, \bar{a}_{NS}, \bar{a}_Z, \bar{a}_{PS}, \bar{a}_{PM}, \bar{a}_{PB}$ приведены на рис. 4.

На основании входных и выходных лингвистических переменных формируется база продукционных правил системы нечёткого вывода (табл. 2):

П1: «Если Q_{CO} есть q_{NS} и V_Q есть v_{PS}, то $\bar{A}$ есть $\bar{a}_{NM}$»;
П2: «Если Q_{CO} есть q_{NS} и V_Q есть v_Z, то $\bar{A}$ есть $\bar{a}_{PS}$»;
П3: «Если Q_{CO} есть q_{NS} и V_Q есть v_{NS}, то $\bar{A}$ есть $\bar{a}_{PB}$»;
⋮
П9: «Если Q_{CO} есть q_Z и V_Q есть v_Z, то $\bar{A}$ есть $\bar{a}_Z$».

Функции принадлежности входных лингвистических переменных, а также результат определения корректирующего положения угла поворота регулятора сервопривода по алгоритму Мамдани в пакете MatLab (функция fuzzy) представлены на рис. 2...4 [4]. Для входного параметра концентрация CO был задан диапазон 0...250 ppm, для переменной скорость изменения CO — диапазон −10...10 ppm/c, для выходной переменной угол поворота — диапазон −90...90°.

Таблица 2

База правил системы нечёткого вывода

Q_{CO} \ V_Q	v_{NS}	v_Z	v_{PS}
q_{NS}	$\bar{a}_{PB}$	$\bar{a}_{PS}$	$\bar{a}_{NM}$
q_Z	$\bar{a}_{PS}$	$\bar{a}_Z$	$\bar{a}_{NM}$
q_{PS}	$\bar{a}_Z$	$\bar{a}_{PS}$	$\bar{a}_{NS}$

После построения базы правил и функций принадлежности в программном пакете Simulink было выполнено имитационное моделирование нечёткого ПИД-регулятора по ошибке, производной ошибки и выходу [5]. Объект управления описывается передаточной функцией второго порядка

$$W(s) = \frac{100}{317,68907s^2 + 27,79733s + 1}.$$

Блок-схема нечёткого ПИД-регулятора представлена на рис. 5.

Структурная схема нечёткого ПИД-регулятора в Simulink приведена на рис. 6.

Для наглядности было проведено сравнение переходного процесса разработанного нечёткого ПИД-регулятора с классическим ПИД-регулятором. Для корректного сравнения этих регуляторов был выполнен расчёт оптимальных настроек ПИД-регулятора методом расширенных частотных характеристик для степени колебательности $m = 0,345$.

Результаты сравнения переходных процессов регуляторов приведены на рис. 7.

Моделирование показало, что нечеткий ПИД-регулятор по сравнению с обычным ПИД-регулятором обладает более высокой скоростью отклика, наименьшим перерегулированием и значительно сокращает время колебаний. Нечёткий ПИД-регулятор показывает хорошие динамические и статические характеристики [6].

Заключение. С учётом показателей качества переходных процессов можно утверждать, что использование нечёткого ПИД-регулятора позволяет улучшить процессы горения топлива и снизить количество вредных выбросов в окру-

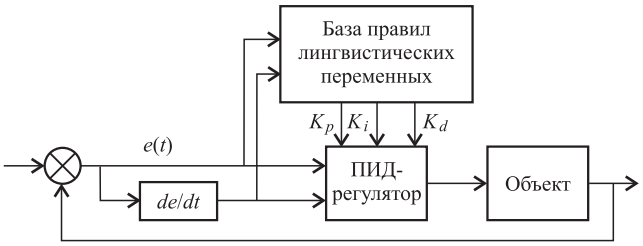


Рис. 5. Блок-схема нечёткого ПИД-регулятора:
$e(t)$ — ошибка рассогласования; de/dt — производная ошибки; K_p, K_i, K_d — пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющая ПИД-регулятора соответственно

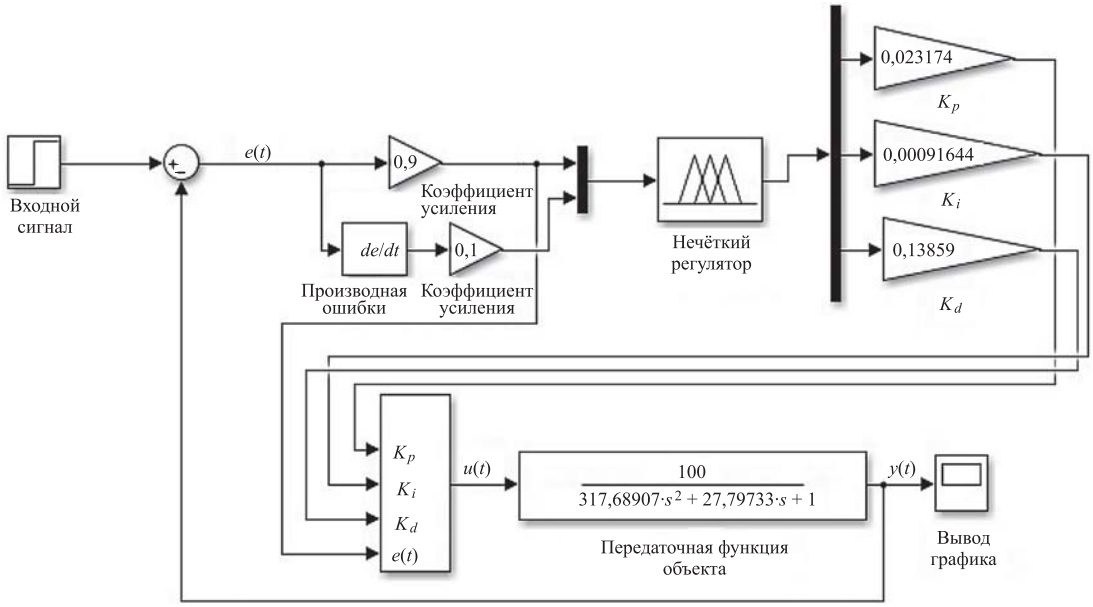


Рис. 6. Структурная схема нечёткого ПИД-регулятора в Simulink:
$e(t)$ — ошибка рассогласования; de/dt — производная ошибки; K_p, K_i, K_d — пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющая ПИД-регулятора соответственно; $u(t)$ — входной сигнал; $y(t)$ — выходной сигнал

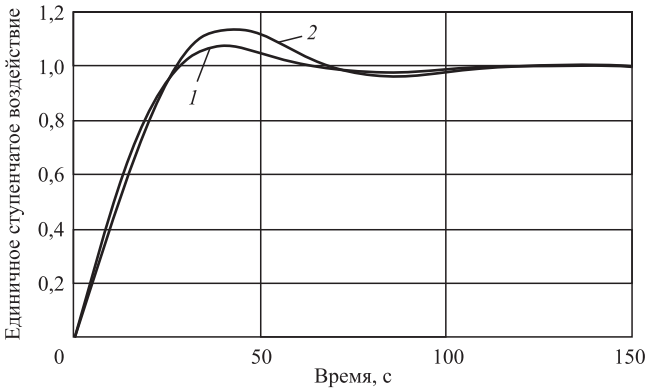


Рис. 7. Переходные процессы нечёткого (*1*) и классического (*2*) ПИД-регуляторов

жающую среду. При обеспечении оптимального процесса горения достигается значительная экономия топлива. Применение нечёткой логики позволяет стабилизировать концентрацию CO в продуктах сгорания и снизить число неверных решений обслуживающего персонала при работе в режиме дистанционного управления [7]. Взаимосвязь концентрации вредных выбросов и режимных факторов может также учитываться в процессе проектирования и наладки нейронной сети для автоматизированной системы управления процессом горения подогревателя ПГ-500. При построении нейронной сети будет учитываться больше входных переменных: концентрация кислорода в уходящих газах, температура и влажность окружающего воздуха, давление топливного газа, цвет пламени и пульсации пламени. Представление совокупности этих факторов в виде нейронной сети позволит достигнуть высокого качества регулирования процессами горения в промышленных котлах.

Библиографические ссылки

1. **Белоусов О.А., Иванов С.В.** Интеллектуальная система управления и мониторинга газовой котельной // Программные продукты и системы. 2012. № 1. С. 75—80.

2. **Леоненков А.В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy Tech. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. С. 736.

3. **Васильев М.И., Парсункин Б.Н., Андреев С.М.** Способ энергосберегающего нечёткого управления процессом горения в тепловых установках // Автоматизированные технологии и производства. 2016. № 1. С. 66—74.

4. **Рассел С., Норвинг П.** Искусственный интеллект: современный подход: учеб. пособие. М.: Изд. дом «Вильямс», 2010. С. 408.

5. **Yang P., Peng D.G., Yang Y.H., Wang Z.P.** Neural networks internal model control for water level of boiler drum in power station / Proceedings of 2010 Intern. Conf. on Machine Learning and Cybernetics. Vol. 5. 26—29 Aug. 2010. P. 3300—3303.

6. **Syropoulos A.** Theory of Fuzzy Computation. Springer, 2014. P. 170.

7. **Astrom K.J., Hagglund T.** Advanced PID control, ISA — The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2006. P. 460.

Ссылка для цитирования

Нурматов Н.З. Оптимизация процесса горения в промышленных котлах на основе нечёткой логики // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 401—405.

УДК 628.9

О.Е. Железникова, канд. техн. наук, доц., **С.В. Прытков,** канд. техн. наук, доц.
(Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск),
С.А. Микаева, д-р техн. наук, проф., **А.С. Микаева,** канд. экон. наук, доц.
(МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва)
mikaeva@npo.lit.ru

К ВОПРОСУ О ПРЕОБРАЗОВАНИИ СИСТЕМ ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ

Статья посвящена определению способа перехода между фотометрическими системами Aα, Bβ, Cγ, основанного на их совмещении с помощью поворотов в прямоугольной системе координат с последующей интерполяцией значений силы света в заданных узлах. Это позволяет корректно определять все значения меридиональных углов во всей области принимаемых значений: [−π; π] для A, B и [0; 2π] для C. Показано, что для решения проблемы получения регулярной сетки углов можно воспользоваться интерполяцией рассеянных данных на основе триангуляции Делоне.

Ключевые слова: осветительный прибор; система фотометрирования; кривая силы света; гониофотометрия; фотометрическое тело; триангуляционная сетка; интерполяция рассеянных данных.

The article is devoted to determining the transition method between photometric systems Aα, Bβ, Cγ, based on their combination by using turns in a rectangular coordinate system with the subsequent interpolation of the luminous intensity values at given nodes. It allows you to correctly determine all values of the meridional angles in the entire range of received values: [−π; π] for A, B and [0; 2π] for C. It is shown that interpolation of scattered data based on the Delaunay triangulation can be used to solve the problem of obtaining a regular angular grid of angles.

Keywords: lighting device; photometric system; light intensity curve; goniophotometry; photometric body; triangulation net; interpolation of scattered data.

Пространственно-угловое распределение силы света определяется в ходе гониофотометрических измерений и может задаваться в одной из трёх систем фотометрирования: $A\alpha$, $B\beta$, $C\gamma$ (тип *A*, тип *B*, тип *C*) [1—4]. Выбор конкретной системы для определённого типа источников света (ИС) или осветительных приборов (ОП) стандартами строго не регламентируется, хотя некоторые рекомендации всё же есть. Например, прожекторы целесообразнее фотометрировать в системе $B\beta$ [1—3], автомобильные фары — в системе $A\alpha$ [3], а офисные и уличные светильники — в системе $C\gamma$. Если кинематическая схема гониофотометра предполагает поворот ИС, а измеряются характеристики разрядной лампы, то выбрать необходимо ту систему, при которой не изменяется её рабочее положение. Зачастую выбор продиктован просто удобством проведения измерений.

В светотехнической практике могут встречаться ситуации, когда фотометрирование осуществлялось в одной системе, а результаты надо представить в другой. Например, необходимо сопоставить результаты измерений двух гониофотометров, кинематические схемы которых реализуют разные системы фотометрирования. В работах [1, 3] приведены формулы перехода между системами фотометрирования. Однако, как будет показано далее, этот вопрос полностью не изучен.

Системы фотометрирования представляют собой сферические системы координат, определённым образом ориентированные относительно фотометрической, продольной и поперечной осей ОП [1]. Совмещение систем фотометрирования можно осуществлять, используя либо основные понятия и правила сферической геометрии [5], либо матричные преобразования в декартовой системе координат. Оба способа приводят к одним и тем же результатам, но в данной работе мы отдаём предпочтение последнему вследствие его более экономичной, удобной для запоминания формы записи.

Как известно, переход от сферических координат к прямоугольным осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} x &= r\sin\theta\cos\varphi; \\ y &= r\sin\theta\sin\varphi; \\ z &= r\cos\theta, \end{aligned} \qquad (1)$$

где θ — полярный угол; φ — азимутальный угол; *r* — радиус-вектор (рис. 1).

Выясним теперь, как осуществляется переход к прямоугольной системе координат,

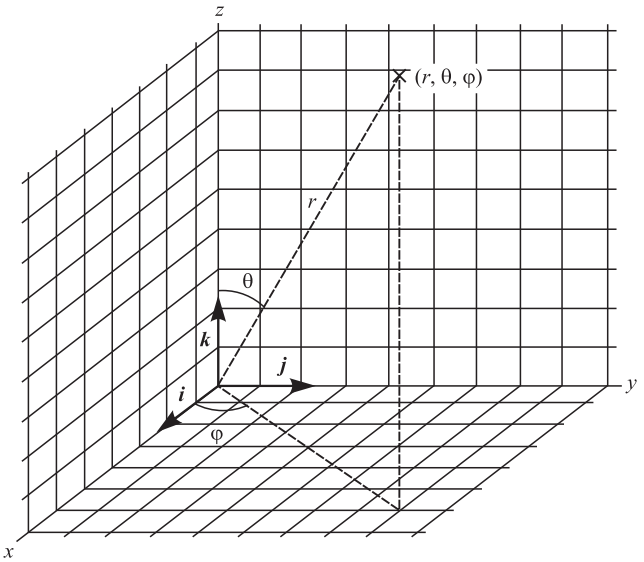


Рис. 1. Сферическая система координат

связанной с системами фотометрирования $C\gamma$, $B\beta$, $A\alpha$. Координатными осями во всех трёх системах являются поперечная, продольная и фотометрическая оси ОП. Положительные направления координатных осей в системах $C\gamma$, $B\beta$, $A\alpha$ определяют тройки единичных векторов ($\boldsymbol{i}_C$, $\boldsymbol{j}_C$, $\boldsymbol{k}_C$), ($\boldsymbol{i}_B$, $\boldsymbol{j}_B$, $\boldsymbol{k}_B$) и ($\boldsymbol{i}_A$, $\boldsymbol{j}_A$, $\boldsymbol{k}_A$) соответственно (рис. 2...4).

На рис. 1...4 видно, что полярный θ и азимутальный φ углы связаны с меридиональными и экваториальными углами систем $C\gamma$, $B\beta$, $A\alpha$ следующим образом: $\theta_C = 180° - \gamma$, $\varphi_C = C$; $\theta_B = 90° - \beta$, $\varphi_B = B$; $\theta_A = 90° + \alpha$, $\varphi_A = A$. *Подставляя данные выражения в (1), получаем формулы преобразования координат систем $C\gamma$, $B\beta$, $A\alpha$ в прямоугольные координаты*

$$
\begin{aligned}
x_C &= \sin\gamma\cos C;\\
y_C &= \sin\gamma\sin C;\\
z_C &= -\cos\gamma,\\
\\
x_B &= \cos\beta\cos B;\\
y_B &= \cos\beta\sin B;\\
z_B &= \sin\beta,\\
\\
x_A &= \cos\alpha\cos A;\\
y_A &= \cos\alpha\sin A;\\
z_A &= -\sin\alpha.
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Теперь необходимо осуществить поворот координатных осей или базиса систем. Обращаясь к рис. 2...4, видим, что при переходе $C\gamma \to B\beta$ поворот происходит относительно оси j_C на 270° против часовой стрелки, а при

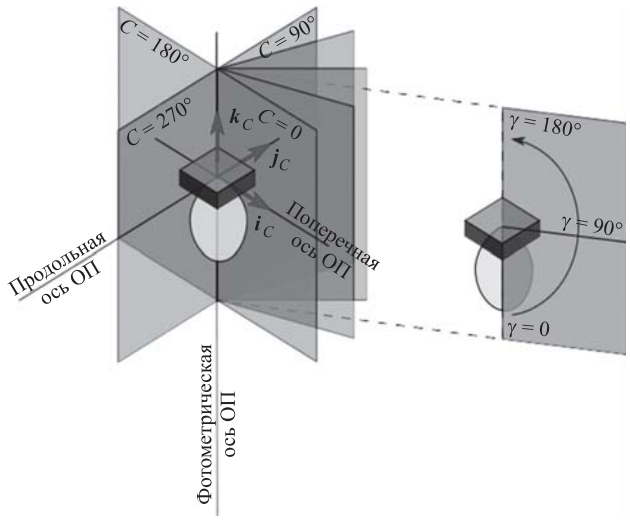


Рис. 2. Система фотометрирования Cγ

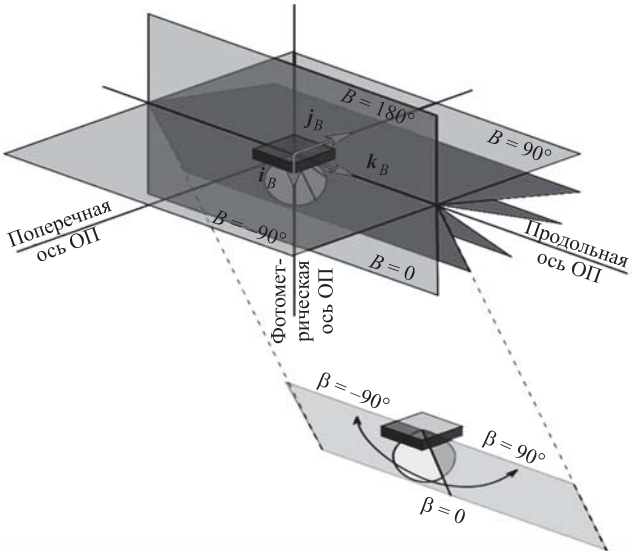


Рис. 3. Система фотометрирования Bβ

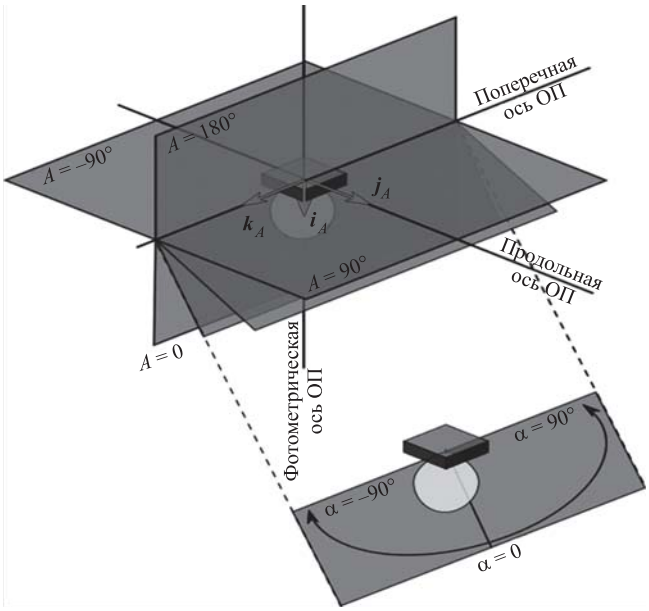


Рис. 4. Система фотометрирования Aα

$B\beta \to A\alpha$ — относительно оси i_B на 270° против часовой стрелки. Матрицы данных преобразований имеют вид

$$R_{cb} = \begin{pmatrix} \cos 270° & 0 & \sin 270° \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin 270° & 0 & \cos 270° \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$R_{ba} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 270° & -\sin 270° \\ 0 & \sin 270° & \cos 270° \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Как будет показано ниже, этих двух матриц достаточно, чтобы полностью описать связь систем фотометрирования. Теперь дадим матричное обозначение преобразованиям (4):

$$c = \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{pmatrix}; \; b = \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix}; \; a = \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix}.$$

Тогда переход между системами фотометрирования запишется следующим образом:

$$C\gamma \to B\beta\text{: } \mathrm{b} = \mathrm{R}_{cb}\mathrm{c}, \quad (5)$$

$$B\beta \to A\alpha\text{: } \mathrm{a} = \mathrm{R}_{ba}\mathrm{b}, \quad (6)$$

$$C\gamma \to A\alpha\text{: } \mathrm{a} = \mathrm{R}_{ba}\mathrm{R}_{cb}\mathrm{c} = \mathrm{R}_{ca}\mathrm{c}, \quad (7)$$

$$B\beta \to C\gamma\text{: } \mathrm{c} = \mathrm{R}_{cb}^{-1}\mathrm{b}, \quad (8)$$

$$A\alpha \to B\beta\text{: } \mathrm{b} = \mathrm{R}_{ba}^{-1}\mathrm{a}, \quad (9)$$

$$A\alpha \to C\gamma\text{: } \mathrm{c} = \mathrm{R}_{ca}^{-1}\mathrm{a}. \quad (10)$$

Выражения (5)...(10) однозначно определяют связь между системами фотометрирования. Решая их в явном виде, находим следующие соотношения для углов:

$$C\gamma \to B\beta\text{: } B = \mathrm{arctg}(\sin C \mathrm{tg}\gamma); \quad \beta = \arcsin(\cos C \sin\gamma), \quad (11)$$

$$B\beta \to A\alpha\text{: } A = \mathrm{arctg}(\mathrm{tg}\beta/\cos B); \quad \alpha = \arcsin(\sin B \cos\beta), \quad (12)$$

$$C\gamma \to A\alpha\text{: } A = \mathrm{arctg}(\cos C \mathrm{tg}\gamma); \quad \alpha = \arcsin(\sin C \sin\gamma), \quad (13)$$

$$B\beta \to C\gamma\text{: } C = \mathrm{arctg}(\sin B/\mathrm{tg}\beta); \quad \gamma = \arccos(\cos B \cos\beta), \quad (14)$$

$$A\alpha \to B\beta\text{: } B = \mathrm{arctg}(\mathrm{tg}\alpha/\cos A); \quad \beta = \arcsin(\sin A \cos\alpha), \quad (15)$$

$$A\alpha \to C\gamma\text{: } C = \mathrm{arctg}(\mathrm{tg}\alpha/\sin A); \quad \gamma = \arccos(\cos A \cos\alpha). \quad (16)$$

Эти же соотношения приведены в [1]. Анализируя их и рассматривая рис. 1...4, заключаем, что для нахождения экваториальных углов A, B и C использование лишь главной ветки арктангенса недостаточно, так как $-\pi \leqslant A \leqslant \pi$, $-\pi \leqslant B \leqslant \pi$, $0 \leqslant C \leqslant 2\pi$, и в то же время $-\pi/2 < \mathrm{arctg}x < \pi/2$. Это приводит к тому, что после преобразования половина информации теряется. Для корректного определения всех значений меридионального угла его следует искать как аргумент комплексного числа:

в случае A и B

$$\varphi(y, x) = \begin{cases} \mathrm{arctg}\left(\dfrac{y}{x}\right), & x > 0; \\ \pi + \mathrm{arctg}\left(\dfrac{y}{x}\right), & x < 0,\ y \geqslant 0; \\ -\pi + \mathrm{arctg}\left(\dfrac{y}{x}\right), & x < 0,\ y < 0; \\ \dfrac{\pi}{2}, & x = 0,\ y > 0; \\ -\dfrac{\pi}{2}, & x = 0,\ y < 0; \end{cases}$$

в случае C

$$\varphi^*(y, x) = \begin{cases} \mathrm{arctg}\left(\dfrac{y}{x}\right), & x < 0,\ y \geqslant 0; \\ \pi + \mathrm{arctg}\left(\dfrac{y}{x}\right), & x < 0; \\ 2\pi + \mathrm{arctg}\left(\dfrac{y}{x}\right), & x > 0,\ y < 0; \\ \dfrac{\pi}{2}, & x = 0,\ y > 0; \\ \dfrac{3\pi}{2}, & x = 0,\ y < 0. \end{cases}$$

Учитывая это, перепишем выражения (5)...(10) в следующем виде:

$$C\gamma \to B\beta\text{: } B = \varphi(\sin C, \mathrm{ctg}\gamma); \quad \beta = \arcsin(\cos C \sin\nu), \quad (5^*)$$

$$B\beta \to C\gamma\text{: } C = \varphi^*(\sin B, \mathrm{tg}\beta); \quad \gamma = \arccos(\cos B \cos\beta), \quad (6^*)$$

$$B\beta \to A\alpha\text{: } A = \varphi(\mathrm{tg}\beta, \cos B); \quad \alpha = \arcsin(\sin B \cos\beta), \quad (7^*)$$

$$A\alpha \to B\beta\text{: } B = \varphi(\mathrm{tg}\alpha, \cos A); \quad \beta = \arcsin(\sin A \cos\alpha), \quad (8^*)$$

$$A\alpha \to C\gamma\text{: } C = \varphi^*(\mathrm{tg}\alpha, \sin A); \quad \gamma = \arccos(\cos A \cos\alpha), \quad (9^*)$$

$$C\gamma \to A\alpha\text{: } A = \varphi(\cos C, \mathrm{ctg}\gamma); \quad \alpha = \arcsin(\sin C \sin\gamma). \quad (10^*)$$

Результат преобразования по этим формулам приведён на рис. 5.

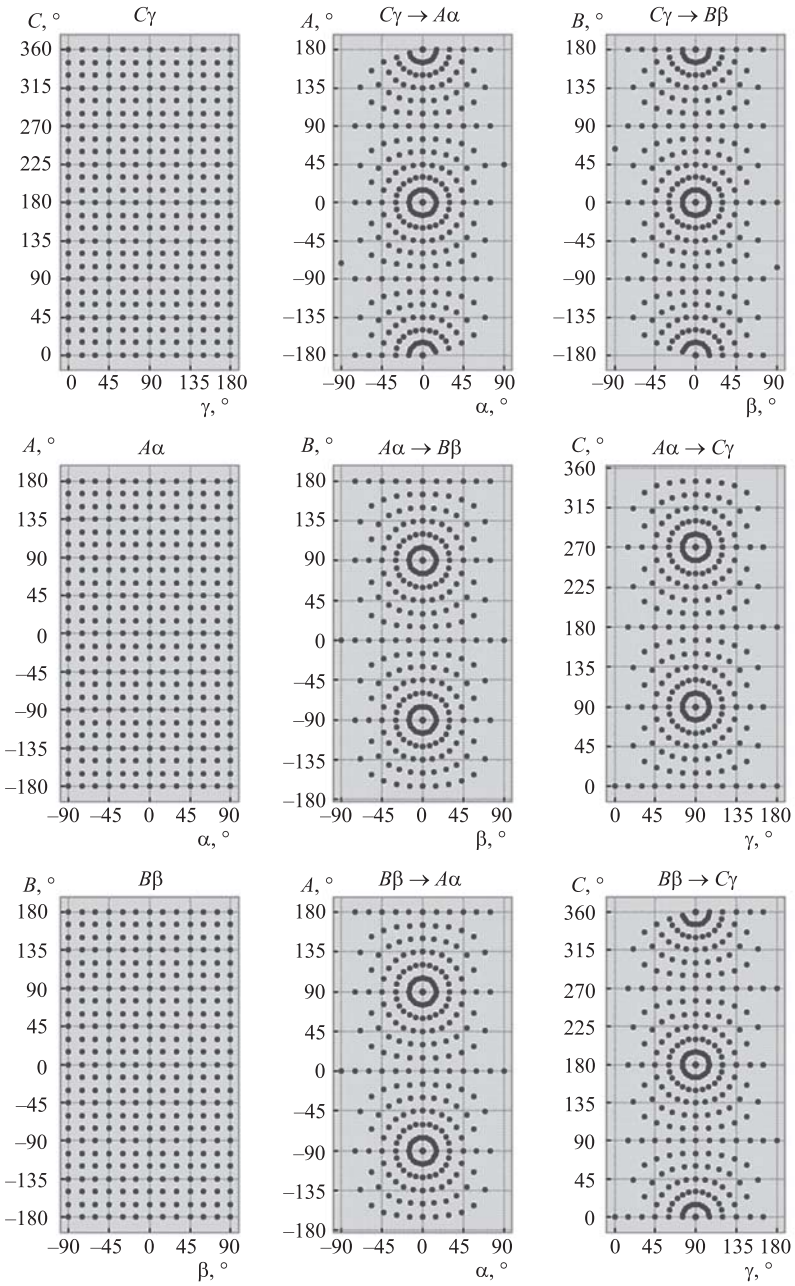


Рис. 5. Узлы систем фотометрирования до и после преобразования. Использовались формулы (5*)...(10*)

Выражения (5*)...(10*) позволяют корректно совмещать системы фотометрирования, однако сложно представить практический случай, когда этими результатами можно воспользоваться непосредственно. Дело в том, что на выходе подобного преобразования хотелось бы получать данные, упорядоченные в виде таблицы, которой описывают кривые силы света (КСС) в соответствующих меридиональных плоскостях. Однако совершенно очевидно, что без дополнительных действий получить подобную таблицу не получится. В результате после преобразования мы не сможем получить файлы фотометрических данных [6, 7], правила формирования которых подразумевают регулярную сетку. Также мы не сможем сравнить измерения двух гониофотометров, кинематические схемы которых реализуют разные системы фотометрирования.

Поскольку сетки становятся нерегулярными, нахождение силы света в заданных узлах сводится к интерполяции рассеянных данных. Рассмотрим интерполяцию на примере преобразования $B\beta \to C\gamma$.

В общем случае сила света I — это функция двух переменных, значения которой известны лишь в точках (C_i, γ_j), а требуется выяснить, чему она равна в точках из другого набора (C_k^*, γ_l^*). Для этого следует выполнить триангуляцию Делоне [8] области [0, 180°] × [0, 360°]. После неё значения $I(C_k^*, \gamma_l^*)$ можно получить интерполяцией значений $I(C_i, \gamma_j)$ в вершинах треугольников.

Проблема заключается в том, что триангуляционная сетка, построенная по имеющимся (C_i, γ_j), покрывает область определения функции I не полностью: края области не попадают ни в один треугольник (рис. 6). Это приводит к невозможности интерполяции в некоторых точках из набора (C_k^*, γ_l^*). В результате само фотометрическое тело будет иметь «вырез». Указанную проблему можно решить, используя чётность и периодичность КСС, вытекающие из определения сферической системы координат:

$$I(-C, \gamma) = I(C, \gamma);\ I(360° - C, \gamma) = I(C, \gamma);$$

$$I(C, \gamma - 360°) = I(C, \gamma);\ I(C, \gamma + 360°) = I(C, \gamma).$$

Эти соотношения позволяют доопределить $I(C, \gamma)$ в точках, лежащих за нижней, верхней, левой и правой границами её области определения соответственно. «Раздвинув» эти границы, можно добиться того, что исходный прямоугольник [0°, 180°] × [0°, 360°] вместе со всеми точками (C_k^*, γ_l^*) будет полностью накрыт триангуляционной сеткой Делоне, построенной для новой, расширенной области определения.

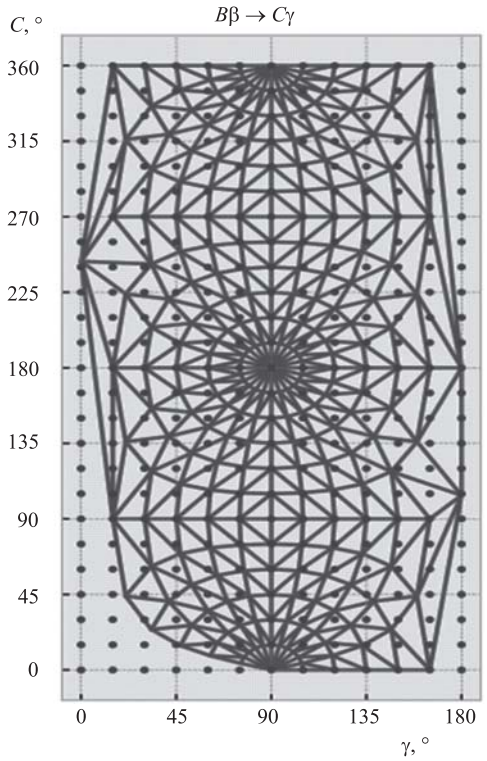


Рис. 6. Интерполяция по рассеянным данным

В статье предложен способ перехода между фотометрическими системами, основанный на их совмещении с помощью поворотов в прямоугольной системе координат с последующей интерполяцией значений силы света в заданных узлах. Итоговые формулы (5*)...(10*) в отличие от формул, приведённых в работе [1], позволяют корректно определять все значения меридиональных углов во всей области принимаемых значений: $[-\pi; \pi]$ для A, B и $[0; 2\pi]$ для C.

Показано, что после преобразований (5*)...(10*) сетка углов становится нерегулярной, что, в свою очередь, приводит к невозможности сформировать файлы фотометрических данных в широко распространённых форматах ldt и ies [9—12]. Для решения проблемы получения регулярной сетки углов можно воспользоваться интерполяцией рассеянных данных на основе триангуляции Делоне.

Предлагаемое авторами решение проблемы преобразования систем фотометрирования более универсально. В работах [1, 3] не указывается, что после преобразования $B\beta \to C\gamma$ сетка углов становится нерегулярной со всеми вытекающими последствиями. В работе [3] для преобразования $A\alpha \to C\gamma$ предложены формулы, не согласующиеся ни с [1], ни с решением, предложенным в данной статье. Согласно [3] преобразование $A\alpha \to C\gamma$ должно осуществляться следующим образом:

$$\gamma = \alpha + 90^\circ;\ C = \begin{cases} -A, & -180^\circ < A < 0^\circ; \\ 360^\circ - A, & 0^\circ < A < 180^\circ; \\ 0^\circ, 360^\circ, & A = 0^\circ. \end{cases} \quad (17)$$

Если проанализировать (17), то становится понятно, что никакого поворота системы фотометрирования $A\alpha$ относительно светильника до её совмещения с $C\gamma$ не осуществляется, т. е. полярная ось системы $C\gamma$ (линия пересечения полуплоскостей фотометрирования) после преобразования (17) не совмещается с оптической осью светильника, хотя это одно из требований при построении данной системы [1, 3].

Библиографические ссылки

1. **ГОСТ Р 54350—2015.** Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний.

2. **CIE 121-1996.** The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.

3. **IESNA LM-75-01.** Goniophotometer Types and Photometric Coordinates. N.Y., Illuminating Engineering Society of North America, 2012. 12 p.

4. **Weiβhaar J.P.** Next Generation Goniophotometry // Light & Engineering. 2015. No. 23 (4). P. 75—80.

5. **Алексеевский Д.В., Винберг Э.Б., Солодовников А.С.** Геометрия пространств постоянной кривизны // Итоги науки и техники. Современные проблемы математики. Фундаментальные направления. М.: ВИНИТИ, 1988. Т. 29. С. 1—146.

6. **IESNA** Computer Committee. IESNA standard file format for electronic transfer of photometric data: IESNA lighting measurements series; LM-63/IESNA Computer Committee. N.Y. Illuminating Engineering Society of North America, 2012. 12 p.

7. **Stockmar A.W.** EULUMDAT/2 — Extended Version of a Well Established Luminaire Data Format // CIBSE National Lighting Conference. 1998. P. 353—362.

8. **Скворцов А.В.** Триангуляция Делоне и её применение. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. 128 с.

9. **IESNA LM-63-1995.** Light and Lighting. N.Y. Illuminating Engineering Society of North America, 1995.

10. **EN 13032-2:2004**. Light and Lighting. Measurement and Presentation of Photometric Data of Lamp and Luminaries.

11. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 136 с.

12. **Микаева С.А.** Повышение качества технологии производства приборов, установок и систем на базе перспективных источников света. М., Московский технологический ун-т (МИРЭА), 2017. 150 с.

Ссылка для цитирования

Железникова О.Е., Прытков С.В., Микаева С.А., Микаева А.С. К вопросу о преобразовании систем фотометрирования // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 406—410.

УДК 613.155.3:613.14

М.В. Гусейнова
(Азербайджанский технический университет),
Б.А. Шарифова
(Национальное аэрокосмическое агентство, Азербайджан)

m.v.huseynova@mail.ru

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Приведён краткий анализ методов и средств вентилирования производственных помещений. С учётом известных характеристик трансформации концентраций рассматриваемых типов загрязнений (CO_2 и TVOC) в показатель расходуемой на вентиляцию электроэнергии сформулировано единое ограничительное условие для поиска оптимальной характеристики преобразования. Решение сформулированной оптимизационной задачи позволило определить в диапазоне концентраций 1500...2000 мкг/м^3 два режима вентилирования: режим максимальных энергозатрат, когда CO_2 и TVOC вентилируются полностью, и режим минимальных энергозатрат, при котором в TVOC вентилируется полностью, а в CO_2 не полностью.

Ключевые слова: оптимизация; концентрация загрязнителей; электроэнергетический эквивалент; вентилирование; производственные помещения.

A brief analysis of the methods and means for ventilation of industrial premises is given. Taking into account the known concentration transformation characteristics of the considered pollution types (CO_2 and TVOC) as an indicator of electricity consumed for ventilation, a single restrictive condition is formulated for finding the optimal conversion characteristic. The solution of the formulated optimization task made it possible to determine two modes of ventilation in the concentration range 1500... 2000 μg/m^3: the maximum energy consumption mode, when CO_2 and TVOC are completely ventilated, and the minimum energy consumption mode, in which the TVOC is completely ventilated and CO_2 — not completely.

Keywords: optimization; concentration of pollutants; electric power equivalent; ventilation; industrial premises.

Суть вентилирования производственных помещений заключается во введении воздуха внешней среды вовнутрь помещения для повышения качества воздуха в нём. Существует международный стандарт ASHRAE 62.1, согласно которому минимально необходимый объём воздуха, подлежащего вентилированию, определяется по формуле

$$V_{bz} = R_a A_z + R_p P_z, \qquad (1)$$

где R_a — весовой коэффициент фактора размер помещения; R_p — весовой коэффициент фактора число работников, находящихся в помещении; A_z — площадь пола помещения; P_z — число работников.

Из выражения (1) следует, что указанный стандарт предусматривает аддитивно-взвешенный подход к решению задачи определения объёма вентилируемого воздуха. Очевидно, что для поддержания требуемых температуры и влажности внутри помещения необходимо совместное использование систем обогрева, вентилирования и кондиционирования, которые являются потребителями электроэнергии. Так, согласно работе [1] в США доля потребляемой энергии этими системами в 2011 г. составила 19 % от всей потребляемой энергии. В последние годы начал развиваться адаптивный подход к решению проблемы обеспечения качества воздуха в помещениях, который предусматривает учёт реального числа людей в помещении и использование возможностей естественного охлаждения [2]. Известны работы, где в качестве критерия оптимизации используется взвешенная линейная комбинация энергии и уровня комфорта [3] или применяются такие методы, как квадратичное программирование [3], квазиньютоновский алгоритм [3], динамическое программирование [4], генетические алгоритмы [5, 6]. В настоящей статье рассматривается метод, в котором учитывается оптимальное соотношение потребляемой для вентиляции энергии и требования к качеству воздуха.

Для формулировки задачи оптимизации воспользуемся подходом к решению аналогичной задачи с привлечением аппарата функции

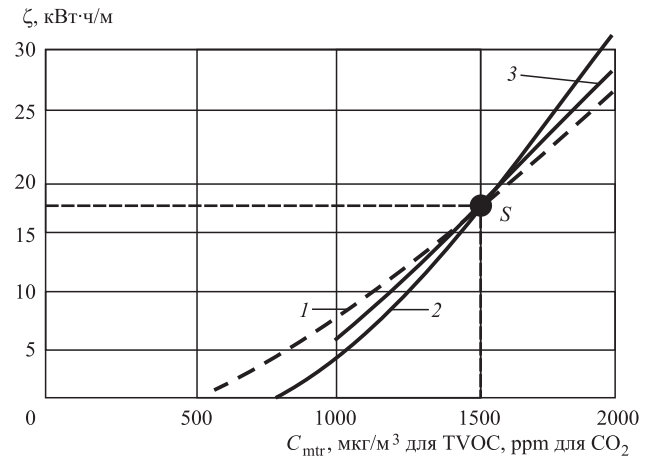
издержек (cost function), приведённого в работе [7]. Согласно [7] наиболее существенными факторами загрязнения воздуха в помещениях являются CO_2 и суммарные летучие органические соединения (TVOC). Компонент CO_2 связан с загрязнением воздуха, вызванным жизнедеятельностью обитателей помещения, а компонент TVOC обусловлен загрязнителями, эмиттируемыми материалами здания и мебели. Важной особенностью методики расчёта эквивалента затрачиваемой вентиляционной системой энергии является учёт четырёх разновидностей показателей загрязнения воздуха: средней концентрации $CO_{2с}$, пиковой концентрации $CO_{2п}$, средней концентрации $TVOC_с$, пиковой концентрации $TVOC_п$.

Для вычисления электроэнергетического эквивалента энергии, потребляемой при вентиляции загрязнителей, по указанным показателям используется формула [7]

$$\zeta = \gamma(\max(C_{mtr}, C_{thr}) - C_{thr})^{1,3}, \qquad (2)$$

где ζ — электроэнергетический эквивалент энергии, потребляемой при вентиляции рассматриваемого загрязнителя; γ — масштабирующий коэффициент; C_{mtr} — концентрация рассматриваемого типа загрязнителя до вентиляции; C_{thr} — фоновая величина загрязнителя, не вызывающая наложения каких-либо штрафов.

Далее в работе [7] предлагается вычислить средневзвешенную величину ζ по всем четырём разновидностям показателей загрязнения путём суммирования этих показателей, умноженных на их нормированные весовые коэффициенты. При этом для определения трансформированного значения концентрации двух



Кривые для перехода от метрической величины концентрации C_{mtr} двух загрязнителей: CO_2 и TVOC к электроэнергетическому эквиваленту ζ:

1 — кривая для TVOC; *2* — кривая для CO_2; *3* — срединная линия симметрии кривых *1* и *2*

типов загрязнителей (TVOC и CO_2) используются кривые *1* и *2*, показанные на рисунке.

В отличие от методики, содержащейся в работе [7], нами предлагается следующая методика оптимизации вентилирования офисных помещений:

1. В качестве основных загрязнителей воздуха рассматриваются CO_2 и TVOC.

2. Принимается, что C_{thr} = 1000 мкг/м^3 как для CO_2, так и для TVOC.

3. Принимается, что всегда выполняется неравенство

$$C_{mtr} > C_{thr}. \qquad (3)$$

4. Выражение (2) с учетом (3) принимает вид

$$\zeta = \gamma(C_{mtr} - C_{thr})^{1,3}. \qquad (4)$$

5. В интервале концентраций загрязнений 1000...2000 мкг/м^3 кривые, приведённые на рисунке, аппроксимируются прямыми линиями, пересекающимися в точке *S* координатами (1500, 18).

6. Для кривых *1* и *2* вводится ограничительное условие

$$C = \int_{1000}^{2000} (\varphi(x) - \varphi_0(x))^2 dx; \qquad (5)$$
$$C = \text{const},$$

где x — концентрация загрязнителя (CO_2 или TVOC); $\varphi(x)$ — зависимость электроэнергетического эквивалента загрязнителя от его концентрации (линия *1* или *2* на рисунке); $\varphi_0(x)$ — функция срединной линии, описывающая линию *3*, приведённую на рисунке.

С учётом перехода к переменной x выражение (4) запишем как

$$\zeta = \gamma(x - x_0)^{1,3}, \qquad (6)$$

где $x = C_{mtr}$; $x_0 = C_{thr}$. (7)

Далее введём величину ζ_{int}, означающую интегральную величину электроэнергетического эквивалента энергии, потребляемой при вентилировании загрязнителя,

$$\xi_{int} = \int_{1000}^{2000} \gamma\left(x - x_0\right)^{1,3} dx. \qquad (8)$$

С учётом выражений (5) и (8) сформулируем оптимизационную задачу вычисления такой функции $\varphi(x)$, при которой интегральная величина ζ_{int} достигает минимального значения. Полный оптимизационный функционал *F* в данном случае имеет вид

$$F = \int_{1000}^{2000} \gamma(x - x_0)^{1,3} dx + \lambda \int_{1000}^{2000} (\varphi(x) - \varphi_0(x))^2 dx, \quad (9)$$

где λ — множитель Лагранжа.

Хорошо известно [8], что экстремальная функция $\varphi(x)$, приводящая F к экстремальному значению, должна удовлетворять условию

$$\frac{d\{\gamma(x - x_0)^{1,3} + \lambda(\varphi(x) - \varphi_0(x))^2\}}{d\varphi(x)} = 0. \quad (10)$$

Из условия (10), аппроксимируя $\varphi(x)$ линейной функцией $\gamma_1(x - x_0)$, где $\gamma_1 = \gamma^{1/1,3}$, получим

$$1,3\gamma_1(x - x_0)^{0,3} + 2\lambda(\varphi(x) - \varphi(x_0)). \quad (11)$$

Из выражения (11) получим

$$\varphi(x) - \varphi(x_0) = \frac{-1,3\gamma_1(x - x_0)^{0,3}}{2\lambda}, \quad (12)$$

или

$$\varphi(x) = \varphi_0(x) - \frac{1,3\gamma}{2\lambda}(x - x_0)^{0,3}. \quad (13)$$

Для вычисления λ воспользуемся выражениями (5) и (13). Имеем

$$C = \int_{1000}^{2000} \left[-\frac{1,3\gamma_1}{2\lambda}(x - x_0)^{0,3} \right]^2 dx. \quad (14)$$

Из выражения (14) находим

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{C} = \int_{1000}^{2000} \frac{1,69}{4}\gamma_1^2 (x - x_0)^{0,6} dx, \quad (15)$$

$$\lambda \approx \pm\sqrt{\frac{C}{\int_{1000}^{2000} 0,42\gamma_1^2 (x - x_0)^{0,6} dx}}. \quad (16)$$

Как следует из выражения (16), множитель Лагранжа может иметь как отрицательный, так и положительный знак. В первом случае для определения типа экстремума функционала (9) следует вычислить вторую производную обоих интегрантов в выражении (9) и убедиться, что она отрицательна, тогда при решении уравнений (13), (16) функционал F достигает максимальной величины. Таким образом, в этом случае интегральный электроэнергетический эквивалент рассматриваемых типов загрязнения воздуха достигнет максимальной величины при выполнении условий (13) и (16).

Следует отметить, что такой результат даёт возможность оценить энергетические потери в том случае, если x с равной вероятностью принимает значения только в диапазоне от 1500 до 2000 мкг/м^3, так как дробная степень отрицательного числа не определена.

Достижение максимальных энергозатрат позволяет обеспечить полное очищение воздуха помещения как от CO_2, так и от TVOC. В случае если в выражении (16) выбирается положительный знак, то можно достигнуть минимальных энергозатрат. Однако при этом вентилирование CO_2 в диапазоне концентраций 1500...2000 мкг/м^3 будет осуществляться не полностью, а TVOC — полностью.

Сформулируем основные выводы проведённого анализа:

1. С учётом известных характеристик трансформации концентраций рассматриваемых типов загрязнений в электроэнергетический показатель расходуемой на вентиляцию энергии сформулировано единое ограничительное условие (5) для поиска оптимальной характеристики преобразования.

2. Решение сформулированной оптимизационной задачи позволило определить в диапазоне концентраций 1500...2000 мкг/м^3 два режима вентилирования: режим максимальных энергозатрат, когда CO_2 и TVOC вентилируются полностью, и режим минимальных энергозатрат, где CO_2 вентилируется неполностью, а TVOC — полностью.

Библиографические ссылки

1. **Annual** Energy Review, US Energy Information Administration. Sept. 27.2012. — URL: http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb0211 (дата обращения 30.11.2018 г.)

2. **Xu X.S., Wang S., Sun Z., Xiao F.** A model-based optimal ventilation control strategy of multi-zone VAV air-conditioning systems // Applied Thermal Engineering. 2009. No. 29. P. 91—104.

3. **House J.M., Smith T.F.** System approach to Optimal control for HVAC and building systems // ASHRAE Transactions. 1995. No. 101 (2). P. 647—660.

4. **Kota N.N., House J.M., Arora S., Smith T.F.** Optimal control of HVAC systems using DDP and NLP techniques // Optimal Control Applicationsand Methods. 1996. No. 17 (1). P. 71—79.

5. **Wang S.W., Jin X.Q.** Model-based optimal control of VAV air-conditioning system using genetic algorithm // Buildingand Environment. 2000. No. 35 (6). P. 471—487.

6. **Coffey B., Haghighat F., Morofsky E., Kutrowski E.** A software framework for model predictive control with CenOpt // Energyand Buildings. 2010. No. 42 (7). P. 1084—1092.

7. **Rackes A., Waring M.S.** Using multiobjective optimization to discover dynamic building ventilation that can improve indoor air quality and reduce energy use // Energy and Buildings. 2014. No. 75. P. 272—280.

8. **Эльсгольц Л.Е.** Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

Ссылка для цитирования

Гусейнова М.В., Шарифова Б.А. Вопросы оптимизации вентилирования производственных помещений // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 411—413.

УДК 004.9:004.8

Ю.Г. Кабалдин, д-р техн. наук, проф., **П.В. Колчин,**
Д.А. Шатагин, канд. техн. наук, доц., **М.С. Аносов,** канд. техн. наук
(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)

uru.40@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Рассмотрен процесс 3D-печати на станке с ЧПУ путём электродуговой наплавки проволоки с использованием цифрового двойника, созданного на основе нейронно-сетевых моделей. Показано, что применение цифрового двойника позволяет выбрать оптимальные параметры 3D-печати на стадии подготовки управляющей программы и управлять механическими свойствами и геометрической точностью конечного изделия.

Ключевые слова: аддитивные технологии; 3D-печать; станки с ЧПУ; цифровые технологии; искусственная нейронная сеть; цифровой двойник.

The 3D printing process on a CNC machine by electric arc deposition of a wire using a digital twin created on the basis of neural network models is considered. It is shown that the use of a digital twin allows you to select the optimal parameters of 3D printing at the stage of preparing a control program and control the mechanical properties and geometric accuracy of the final product.

Keywords: additive technologies; 3D printing; CNC machines; digital technology; artificial neural network; digital twin.

Сегодня благодаря развитию производственных технологий предприятия имеют сложное высокотехнологичное оборудование, в частности 3D-принтеры. Данное оборудование позволяет решить определённые специальные задачи, которые нельзя решить с помощью обычных инструментов, но при этом требует более внимательного отношения на этапах подготовки и эксплуатации.

В связи с этим возникает задача выбора оптимальных параметров печати на стадии подготовки управляющей программы, а также их поддержания в процессе формирования объекта. В НГТУ им. Р.Е. Алексеева на кафедре «Технология и оборудование машиностроения» на базе лаборатории «Нанотехнологии в машиностроении» данная задача решается применением цифрового двойника, в основе которого лежит набор искусственных нейронных сетей [1, 2]. Выбранный подход является одним из наиболее динамично развивающихся и соответствующим реализации концепции цифрового производства «Индустрия 4.0» на предприятиях России.

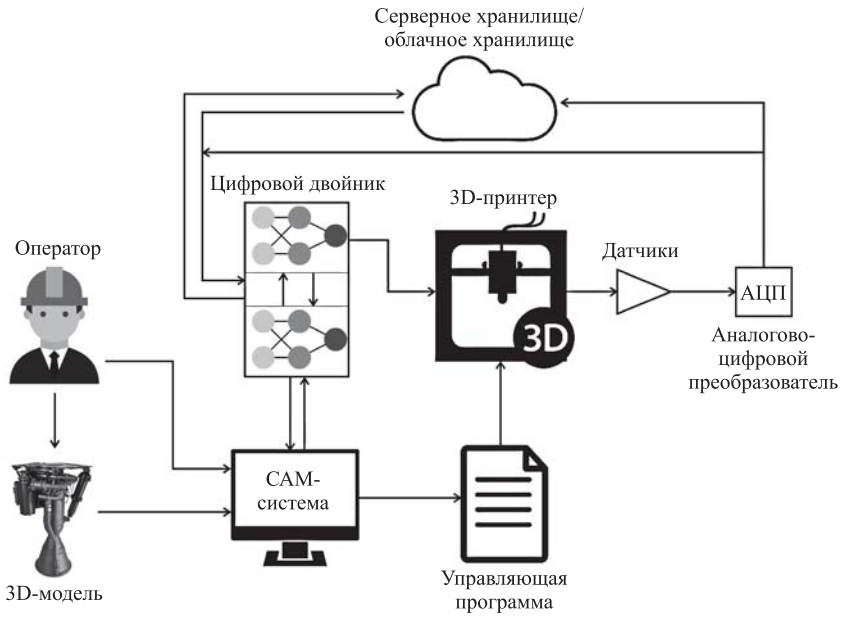


Рис. 1. Общая структура аппаратно-программной системы с цифровым двойником

Разработанный в НГТУ им. Р.Е. Алексеева цифровой двойник представляет из себя цельную, связанную аппаратно-программную систему, структура которой приведена на рис. 1. Согласно этой структуре, разработчик программы для 3D-принтера, используя данные о 3D-модели конечного изделия, в САМ-системе нарезает её на слои и отдельные единичные валики, которые преобразуются в траектории перемещения

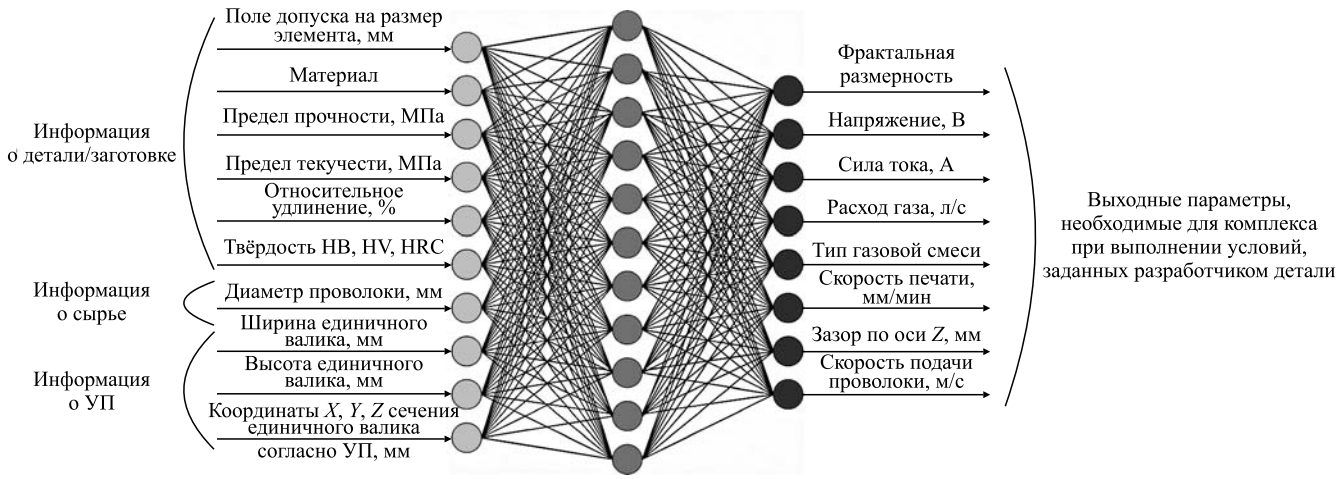


Рис. 2. Искусственная нейронная сеть цифрового двойника для подготовки управляющей программы (УП) на стадии разработки

источника энергии или узлов 3D-принтера. Затем разработчик в САМ-системе обращается к модулю цифрового двойника, а именно к системе искусственных нейронных сетей, одна из которых представлена на рис. 2, и обеспечивает её информацией об изделии в виде следующих параметров: поле допуска на размеры, материал, механические свойства, такие как предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, твёрдость и аналогичные параметры; информацией о сырье; предварительно полученной информацией в САМ-системе, в которую входят координаты траекторий, высота слоя, ширина единичного валика и др. При этом система искусственных нейронных сетей на базе ранее полученного опыта, сформированного посредством обучения с использованием больших данных о процессе 3D-печати на данном и аналогичном оборудовании, способна назначать параметры, управляющие процессом 3D-печати в зависимости от применяемой технологии и оборудования аддитивного производства, а также моделировать сигнал, аналогичный тому, который фиксируется с датчиков, прошедший аналогово-цифровые преобразователи. В случае если совокупность входных параметров искусственной нейронной сети не позволяет вычислить выходные параметры, система искусственных нейронных сетей даёт разработчику обратную связь, содержащую информацию об ошибках, предложения по изменению входных параметров. При наступлении этапа, когда ошибки отсутствуют, с помощью программных средств САМ-системы параметры, назначенные цифровым двойником, включаются в текст управляющей программы для 3D-принтера.

Сформированная управляющая программа передаётся в систему управления 3D-принтера, откуда подаются команды на исполнительные органы оборудования. С их помощью формируется изделие с заданными свойствами. Сам 3D-принтер оснащён системой датчиков, которые фиксируют состав и концентрацию газовой атмосферы, положение рабочих органов, а также вибрацию, температуру, акустическую эмиссию, время, фото-, видео- и аудиосигналы от исполнительных органов, процесса 3D-печати и формируемого объекта. Вся полученная с датчиков информация о текущих параметрах проходит через

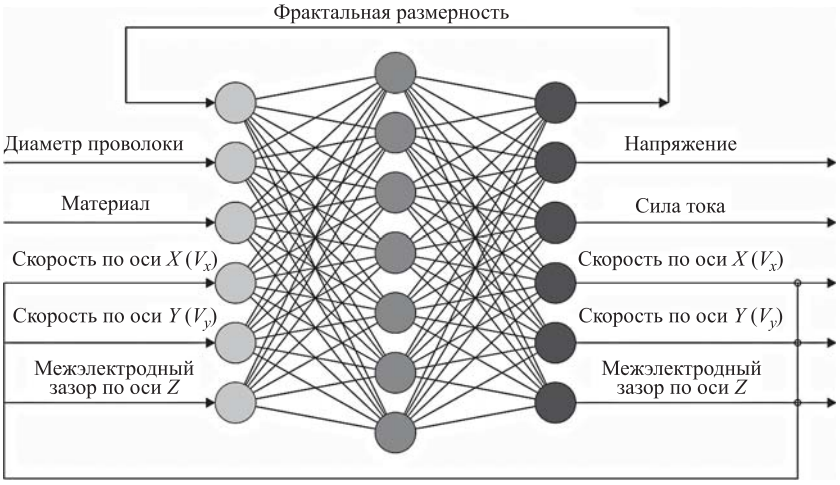


Рис. 3. Искусственная нейронная сеть цифрового двойника для управления режимами 3D-принтера на стадии формирования объекта

аналогово-цифровые преобразователи и передаётся на вход искусственной нейронной сети (рис. 3), которая подключена к 3D-принтеру. Представленная на рис. 3 искусственная нейронная сеть также является частью цифрового двойника. Она призвана анализировать данные, поступающие с датчиков, информацию об изделии, данные о сырье, текущих параметрах 3D-печати, имеющиеся в управляющей программе, и способна формировать в виде команд решение о корректировке того или иного параметра в процессе производства объекта в целях поддержания параметров, необходимых для обеспечения готового изделия характеристиками и свойствами, которые были заданы разработчиком на стадии проектирования. При этом все данные о параметрах 3D-печати, состоянии оборудования передаются с помощью промышленного интернета вещей в облачное хранилище или собственные хранилища предприятия в целях дообучения цифрового двойника, а также для обмена данными с аналогичными системами.

Таким образом, с помощью цифрового двойника могут быть расширены возможности CAM-систем при подготовке управляющих программ и оборудования для 3D-печати при производстве изделий, реализован процесс назначения рекомендуемых параметров 3D-печати, реализован процесс поддержания режимов 3D-печати на уровне, необходимом и достаточном для получения характеристик конечного изделия, заданных разработчиком. Рассмотренный цифровой двойник использован при реализации на станке с ЧПУ процесса 3D-печати путём электродуговой наплавки проволоки.

Кроме предлагаемого цифрового двойника имеются и другие разработки в данном направлении. В частности, компания General Electric разработала цифровой двойник на основе искусственных нейронных сетей [3], который используется при управлении режимами 3D-печати в процессе селективного лазерного сплавления. Основные данные, которыми оперирует система, — фото- и видеоизображения температурного пятна, которые с помощью систем компьютерного зрения обрабатываются и используются для обучения. Также имеются разработки для электродугового выращивания объектов по технологии WAAM. Здесь внедрением искусственных нейронных сетей занимается коллектив СПбПУ им. Петра Великого [4]. В основе предложенной системы лежат мониторинг режимов 3D-печати при помощи датчиков и использование данной информации при обучении нейронной сети.

Следует отметить, что представленные аналоги не могут быть применены при подготовке управляющей программы. В то время как этот этап несёт в себе высокий риск ошибки, которая может перейти на производственную площадку. Здесь также необходимо решение по оптимальному выбору режимов 3D-печати.

Предложенный НГТУ им. Р.Е. Алексеева цифровой двойник, состоящий из набора искусственных нейронных сетей, способен работать на данном проблемном этапе. При этом система работает с характеристиками будущего объекта, что даёт возможность через режимы в определённом диапазоне управлять механическими свойствами и геометрической точностью конечного изделия. Благодаря широкому набору фиксируемых параметров цифровой двойник обладает гибкостью и может быть применён на широком спектре технологий 3D-печати.

Библиографические ссылки

1. **Кабалдин Ю.Г., Колчин П.В., Шатагин Д.А., Киселев А.В.** Интеллектуальное управление гибридной технологией, включающей 3D-печать и механическую обработку на станках с ЧПУ в условиях цифровых производств // Автоматизация. Современные технологии. 2018. № 8. С. 79—85.

2. **Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Аносов М.С., Колчин П.В., Кузьмишина А.М.** Искусственный интеллект и киберфизические механообрабатывающие системы в цифровом производстве / под ред. Ю.Г. Кабалдина. Нижний Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. 271 с.

3. **Laser** Focus: Computer Vision and Machine Learning Are Speeding Up 3D Printing. URL: https://www.ge.com/reports/laser-focus-computer-vision-machine-learning- speeding-3d-printing/ (дата обращения: 17.02.2018).

4. **Аддитивное** электродуговое выращивание с использованием сварочной проволоки (Wire and arc additive manufacturing — WAAM). URL: http://www.lwms.spbstu.ru/razrabotki/wire-and-arc-additive-manufacturing-(waam)/ (дата обращения: 17.02.2018).

Ссылка для цитирования

Кабалдин Ю.Г., Колчин П.В., Шатагин Д.А., Аносов М.С. Применение цифровых двойников в аддитивных технологиях // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 414—416.

УДК 681.5:628.9

И.И. Байнева, канд. техн. наук, доц.
(Институт электроники и светотехники, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)

baynevaii@rambler.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Рассмотрены вопросы организации и устройства интеллектуальных систем управления освещением, особенности автоматической системы «умный свет». Описано высокотехнологичное оборудование систем управления освещением с использованием передовых цифровых технологий.

Ключевые слова: освещение; осветительный прибор; датчик; компьютер; управление освещением; интеллектуальная система; энергоэффективность; инновация.

The organization and design problems of intelligent lighting control systems, features of the automatic system «smart light» are considered. High-tech equipment for lighting control systems using advanced digital technologies is described.

Keywords: lighting; lighting device; sensor; computer; lighting control; intellectual system; energy efficiency; innovation.

Введение. В последнее время в России при проектировании новых и реконструкции существующих инженерных систем зданий и сооружений вопросам энергосбережения уделяется все больше внимания [1]. В современных условиях, когда энергосбережению придаётся большое значение, многие предприятия внедряют автоматические системы управления освещением, которые позволяют организовать максимально комфортное освещение, обеспечить эффективный контроль над оборудованием, снизить потребление электроэнергии [2, 3].

Для повышения энергоэффективности широко используются инновационные интеллектуальные системы управления светодиодным освещением, которые обеспечивают максимальное энергосбережение, комфорт и безопасность в зданиях любого типа [4—6].

Изменения требований рынка систем освещения привели к необходимости повсеместной замены аналоговых систем управления цифровыми. Последние до настоящего времени использовались либо в системах промышленной автоматизации, либо в системах управления сценическим освещением. Основное преимущество цифровых систем перед аналоговыми — возможность гибкой коммуникации и интеграции с другими устройствами, связь между отдельными устройствами, объединёнными в систему. Нередко в цифровых системах для передачи команд управления не требуется отдельных проводов, так как возможна их передача по силовым кабелям. В последнее время набирают силу беспроводные технологии управления освещением, основанные либо на известных и популярных стандартах систем управления, либо на разрабатываемых стандартах беспроводных сенсорных сетей.

Подходы к управлению освещением. Энергозатраты на освещение весьма существенны. Рациональное управление освещением может их ощутимо снизить без потерь качества. Разумное управление энергией — залог нормального сосуществования человека с окружающей средой и его безопасности в повседневной жизни и на производстве [7]. Одним из аспектов реализации этой концепции является управление освещением.

Для решения подобных задач разрабатываются системы управления освещением, которые могут интегрироваться в системы автоматизации зданий или производств. Недавно стал применяться термин «умный свет», который относится к среде, управляемой системами контроля освещения. Эти системы учитывают такие факторы, как наличие людей в помещении, освещённость и время суток. Благодаря тому, что в них используются беспроводные технологии, можно управлять светом из любого места, используя мобильные устройства или компьютер (ноутбук).

Умный свет — это система, включающая в себя осветительные приборы (ОП) и управляющие ими электронные системы. Источники

света в таких системах бывают разных видов: люминесцентные лампы, светодиодные лампы, разрядные лампы. Системы управления включают в себя сенсоры, микроконтроллеры, приёмники и другие электронные компоненты.

Популярность продуктов умного освещения постоянно растёт. Рынок умного света является самым быстрорастущим в индустрии, занятой производством осветительного оборудования. По прогнозам, к 2020 г. его объём составит 8,14 млрд дол. при среднегодовом темпе роста около 20 % в период с 2015 по 2020 г.

Устройства управления освещением используются на промышленных предприятиях, городских улицах и дорогах, парковках и охраняемых территориях, в офисных и административных зданиях, торговых комплексах, складских помещениях, многоквартирных жилых домах. Однако в большей степени такие системы ориентированы на офисные и административные здания и позволяют существенно снизить затраты на электроэнергию.

Организация и способы управления системами освещения. Организация систем управления освещением позволяет решать несколько задач:

экономить потребляемую на освещение электроэнергию;

поддерживать нормируемый уровень освещённости в помещениях;

комфортно управлять заранее запрограммированными световыми сценариями.

Можно выделить несколько наиболее эффективных способов управления ОП.

1. Автоматическое включение и выключение освещения в ответ на наличие или отсутствие движения внутри помещения или его отдельных зон. В результате можно получить до 40 % экономии электроэнергии.

2. Полуавтоматическое управление ОП. При этом включение производится вручную, а выключение — автоматически, после того как человек покинет помещение. Результат — до 55 % экономии электроэнергии.

3. Управление освещением в соответствии с заранее определённым графиком, в зависимости от того, когда здание открыто или закрыто для работы и посещения.

4. Управление уровнем освещённости, когда яркость включенного ОП регулируется в зависимости от световых эффектов, необходимых для деятельности персонала во всём помещении или отдельной зоне.

5. Применение функций дневного контроля освещения, когда автоматическое включение освещения в отдельных зонах или помещениях осуществляется в зависимости от внешних условий (сумерки или пасмурная погода).

Оборудование для управления освещением. Для систем управления освещением применяется высокотехнологичное оборудование с использованием передовых цифровых технологий.

Выбор оборудования для систем управления освещением напрямую зависит от поставленных проектных задач. Наиболее простые решения могут быть реализованы на локальных датчиках (присутствия, движения), фотореле. Глобальные системы управления освещением в здании могут быть рационально построены на базе специальных контроллеров, которые позволяют реализовать заранее запрограммированные сценарии освещения в зависимости от сигнала датчиков или команд настенных панелей управления.

Датчики движения автоматически включают свет, когда человек оказывается в области их чувствительности. После прекращения фиксации движения приборы выключают ОП. Установка таких датчиков особенно актуальна в местах с низкой численностью движущихся людей (в длинных коридорах, на лестничных площадках, над дверями в подъезды и т. д.). Датчики освещённости включают ОП, как только уровень естественной освещённости снижается ниже определённого заранее заданного с учётом санитарных норм. Датчики присутствия оставляют ОП включёнными до тех пор, пока в помещении находятся люди.

Системы управления освещением. На рынке преобладают инфракрасные датчики управления освещением. При фиксации тепла (инфракрасного излучения) они генерируют электрический импульс и коммутируют нагрузку на ОП. Отрезок времени, после которого происходит автоматическое отключение ОП, пользователь может настраивать самостоятельно.

Организация управления светом может быть разной, с использованием различных методов контроля. К наиболее распространённым средствам управления относятся центральный контроллер и пульт дистанционного управления. Схемы систем управления могут быть как отдельными для каждого помещения, так и едиными для всех помещений.

Автоматическая система управления освещением с пульта (дистанционное управление (ДУ) освещением) представляет собой комплекс устройств, в который входят источник сигнала и принимающий его датчик, а также другие вспомогательные приборы. При нажа-

тии кнопки включения или выключения света посылаемый с пульта сигнал поступает на подключённый к ОП блок, который прекращает или возобновляет доступ электроэнергии. Использование ДУ особенно удобно при наличии многоярусного освещения.

Управление освещением в автоматической системе может осуществляться разными способами:

с домашнего компьютера. При этом пультом ДУ может выступать как стационарный компьютер, так и портативный (ноутбук, планшет). Для обеспечения этой функции устанавливается типовое программное обеспечение;

с компьютера, находящегося в любой точке мира. Для этого используется специальная программа и идентификационный пароль, с помощью которого можно зайти на промежуточный сервер или напрямую в сеть «Умный дом» для управления светом;

с мобильного телефона. В данном случае используется клиентское программное приложение, которое подключается к домашней сети по тому же принципу, что и при использовании персонального компьютера;

с помощью настенного контроллера, запрограммированного определённым образом.

В состав автоматической системы управления входит ряд устройств, регулирующих работу ОП без участия человека. К ним относятся датчики движения, фотоэлементы, таймеры. Эти устройства наиболее востребованы в помещениях, где свет нужен в течение сравнительно короткого времени присутствия людей. Для установки датчиков не всегда требуется прокладка проводов — существуют полностью беспроводные устройства с работой от внутренних элементов питания без их замены до 10 лет.

Возможности автоматической системы управления:

регулировка наружного освещения. С помощью автоматизации работы уличных ОП можно управлять архитектурной подсветкой, изменять интенсивность потока света от фонарей в вечернее и ночное время, регулировать цвет свечения (теплый, нейтральный, холодный);

создание световых сцен. Заранее настроенные программы обеспечивают выполнение требований к интенсивности и локализации светового потока в помещении с учётом времени суток, погоды, пожеланий пользователя;

управление шторами и жалюзи. Используя устройство автоматизации «Умный дом», можно закрывать и открывать шторы и жалюзи поочередно и все вместе в любой желаемой последовательности, а также использовать запрограммированные сценарии.

Протоколы и интерфейсы в системах управления освещением. В настоящее время существует ряд готовых решений, реализующих систему управления освещением с использованием различных стандартов и технологий [8].

Протокол DMX (DigitalMultipleX) — стандарт, описывающий метод цифровой передачи данных между контроллерами и светотехническим оборудованием. Протокол передачи данных DMX512 разработан в 1986 г. В дальнейшем его неоднократно пересматривали и дорабатывали (рис. 1).

DMX-контроллеры значительно упрощают и автоматизируют управление световыми установками, могут создавать световое шоу с множеством эффектов, поэтому широко используются в системах управления освещением на крупных площадках, таких как сцены, в том числе театральные.

В системах, использующих стандарт DMX, устранение неисправностей в разъёмах и кабелях затруднено, поэтому в некоторых случаях его применение ограничено. Иногда возможны ложные срабатывания, обусловленные электромагнитными помехами, статическим электричеством, чрезмерно длинными кабелями низкого качества. Всё это уменьшает вероятность бесперебойной работы таких систем в целом.

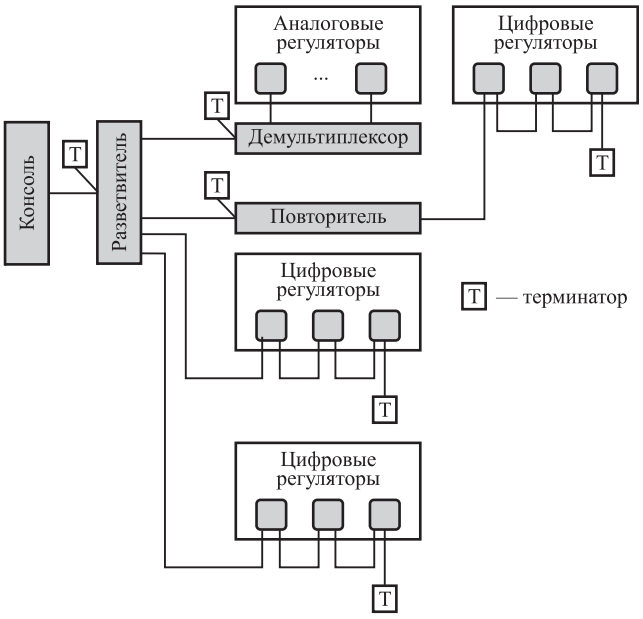


Рис. 1. Пример типовой структурной схемы системы управления освещением на базе DMX512 с установленными терминаторами

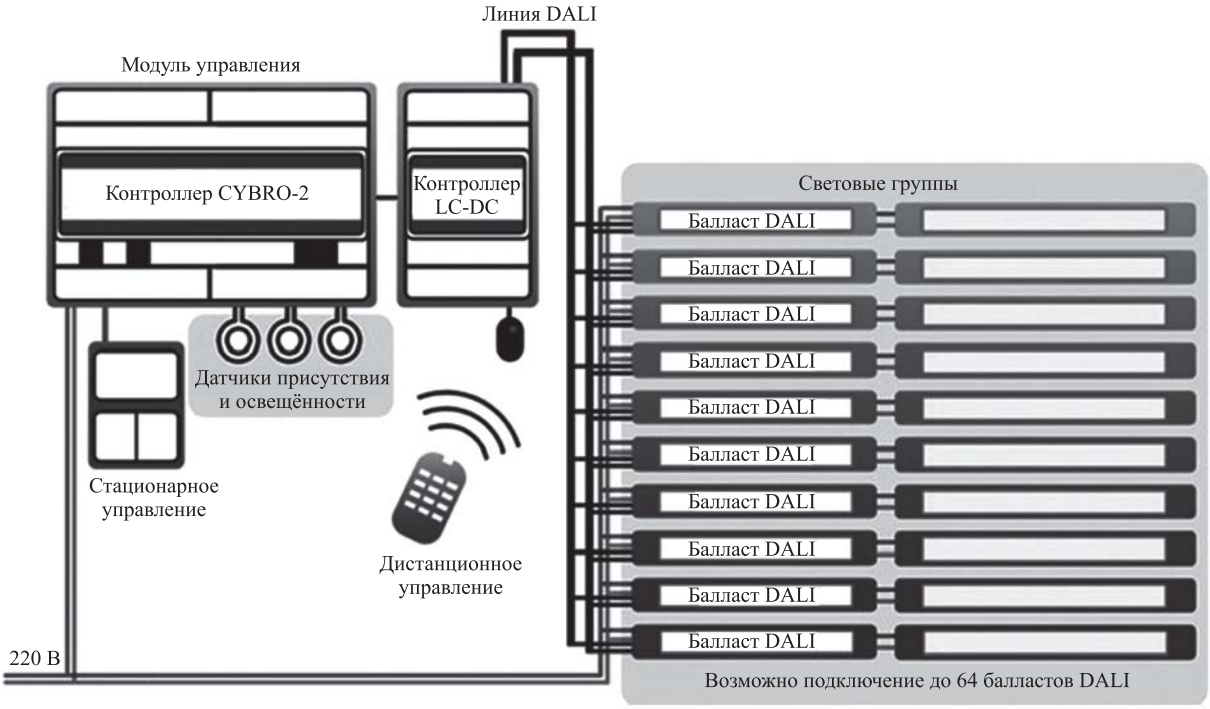


Рис. 2. Пример типовой структурной схемы системы управления освещением на базе DALI

С недавнего времени в системах, построенных на протоколе DMX, начали использовать беспроводные технологии для передачи сигналов дочерним устройствам в сети. Для обеспечения надёжной работы в сетях DMX расстояние между компонентами сети не должно превышать 300...460 м, увеличивать рабочее расстояние можно за счёт использования усилителя сигнала.

Стандарт DMX позволяет управлять по одной линии связи 512 каналами, где каждый из каналов отвечает за отдельную функцию прибора, подключённого к системе управления. Технология даёт возможность реализации усложнённых световых инсталляций и светового оформления высокой сложности. Стандарт EIA485, используемый DMX512, позволяет работать с линиями длиной до 1 км. Протокол DMX512 не является идеальным, но в настоящее время получил достаточное распространение в системах дистанционного управления освещением.

Интерфейс DALI (Digitally Addressable Lighting Interface) — достаточно молодая (1999 г.) разработка в сфере управления светотехническими устройствами. Одно из немаловажных преимуществ системы управления освещением на базе интерфейса DALI — возможность её гибкой интеграции в системы автоматизации управления помещением.

Особенности цифрового протокола DALI [8]:

DALI является открытым протоколом, доступным для всех производителей;

для формирования шины связи всех устройств одной DALI-сети требуются лишь два провода, причём нет необходимости соблюдать полярность;

протокол DALI специально разработан для управления освещением, с чем справляется более гибко, чем другие системы автоматизации и управления зданиями, имея при этом более низкую стоимость;

DALI — децентрализованная шина, она не имеет центрального контроллера и допускает любую топологию кабельной сети, вплоть до смешанной;

одна линия DALI допускает использование до 64 независимых устройств.

В составе системы DALI также предусмотрено наличие датчиков движения, присутствия, освещённости. Возможно программирование световых сцен с учётом дневного освещения, наличия людей в помещении. Пример подключения устройств, работающих по протоколу DALI, представлен на рис. 2.

Выводы. Светотехническая промышленность в настоящее время переживает серьёзные изменения. Прогнозируя ближайшее будущее, можно заключить, что результатом плотного сотрудничества производителей ос-

ветительного оборудования с ИТ-компаниями в сфере новейших технологий освещения будут «умные» системы, оснащённые высокопроизводительными надёжными датчиками, а «умные» светильники не только будут энергоэффективными, но и станут выступать в качестве детекторов ситуации окружающей среды, их оснастят видеокамерами наблюдения, анализаторами качества воздуха и приборами сбора других данных. Уже сегодня ведутся серьёзные разработки для увеличения возможностей интеллектуальных систем освещения, что расширяет перспективы роста этого рынка в будущем.

Библиографические ссылки

1. **Национальная** программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утв. Правительством РФ на 2017—2030 гг.

2. **Байнева И.И.** Современные энергоэкономичные технологии освещения // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2017. Т. 6. № 2. С. 19—24.

3. **Baynev V., Fedosin S.** Simulation and study of optical systems based on LEDs // Acta Technica. 2018. Vol. 63. No. 6. P. 897—902.

4. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Современное светодиодное освещение: преимущества, энергоэффективность, оптические системы // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2016. Т. 5. № 1. С. 13—16.

5. **Байнева И.И.** К вопросу об оценке энергоэффективности и надежности светодиодного освещения // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2016. Т. 5. № 4. С. 12—15.

6. **Байнева И.И.** Энергоэффективные светодиодные технологии / Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 79—81.

7. **Компэл** [Электронный ресурс]. URL: https://www.compel.ru (дата обращения: 20.09.2018).

8. **HDLRUS** [Электронный ресурс]. URL: https://hdlrus.ru (дата обращения: 20.09.2018).

Ссылка для цитирования

Байнева И.И. Инновационные технологии в системах управления освещением // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 417—421.

УДК 519.816:681.51

В.А. Елисеев, д-р техн. наук, проф., **В.А. Сажин,** канд. экон. наук
(Институт инновационно-технологического менеджмента, г. Москва)

dr.ye@mail.ru, vsazhin@yahoo.com

ЭКСПЕРТИЗА В ФОРСАЙТ-ИССЛЕДОВАНИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Отмечается, что методологические аспекты управления форсайт-исследованиями инновационного развития определяются системообразующей ролью научно-технической экспертизы. Проведён анализ особенностей получения, измерения и обработки результатов экспертизы в рамках системы поддержки принятия решений. Установлены организационные перспективы государственной научно-технической экспертизы.

Ключевые слова: экспертиза; форсайт; принятие решений; инновационное развитие.

It is mentioned that the strategic role of scientific and technical expertise determines the management methodological aspects of the foresight research of innovative development. The analysis of the features of obtaining, measuring and processing the results of the expertise within the decision support system is carried out. Organizational perspectives of the state scientific and technical expertise are established.

Keywords: expertise; foresight; decision making; innovative development.

Введение. Определение приоритетов инновационного развития нашей страны осуществляется в условиях бюджетных ограничений, когда требуются перегруппировка ресурсов и поиск дополнительных источников финансирования. В 2020 г. заканчиваются сроки исследований и разработок по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в рамках государственной программы по развитию науки и технологий, а также срок действия Перечня технологических платформ, и может потребоваться корректировка Перечня критических технологий. Средством инновационного развития является ориентированная на долгосрочную перспективу научно-технической политики методология форсайта — системного подхода к «проектированию будущего» с установлением причин-

но-следственных связей, а государственное управление форсайт-исследованиями может быть закреплено за Минобрнауки России. Продукт форсайт-проектов — выработка рекомендаций для государственных органов управления, разработка сценариев и трендов, определение приоритетов НИОКТР. Комплексный характер, концептуальные основы, ключевые принципы, прагматизм и практическое применение превращают форсайт-исследования в инструмент стратегического планирования и научно-технической политики, способствуя сбору необходимой для принятия решений информации о состоянии и направлениях НИОКТР с государственным финансированием, взаимодействию участников преобразований и определению требуемых ресурсов. Форсайт, необходимый для повышения эффективности инновационного развития, в основном осуществляется на основе интерактивности индивидуальных оценок экспертов, а сами экспертные процедуры разрабатываются как комплекс методов оценки перспектив инновационного развития с выявлением технологических прорывов и конкурентных преимуществ. Эти методы направлены на планово-организационную работу по сценариям поэтапно-многоаспектного пассивного (выжидательного) и/или активного взаимодействия экспертных групп. Форсайт опирается на разнообразные информационные ресурсы и средства их анализа, создавая основу для усиления взаимодействия между заинтересованными сторонами и для конвергенции экспертной базы, которая охватывает сегменты инновационного развития [1], а сама экспертиза является средством разработки систем поддержки принятия решений (СППР) в организационном управлении развитием. Так как процесс принятия решений во многих СППР связан с высокой степенью неопределённости, то чаще выбор акцентируется на наилучшей из альтернатив лицом, принимающим решение, или экспертом.

Целью статьи является обоснование системообразующей роли государственной научно-технической экспертизы в форсайт-исследованиях.

Экспертиза как инструмент управления форсайт-исследованиями. Экспертизе свойственны определённые подходы к управлению в СППР: ставятся цели инновационных проектов и программ (экспертируемых объектов — ЭО), используются структуризация работ и сетевое планирование, применяются операции оптимизации и экстремизации как «балансирование» в системе «объёмы работ — ресурсы — сроки — качество — риски». Экспертиза — вид деятельности, заключающийся в организационном, материальном, информационном обеспечении и собственно в проведении профессиональных исследований и оценок, имеющих научное содержание (по согласованным критериям, отражающим специфику этих объектов); она призвана решать задачи распознавания и отвечать на вопрос: обладает ли ЭО соответствующими свойствами (особенностями, характерными признаками) и в какой мере?

Экспертиза фундаментальных и прикладных исследований, ОКТР (в том числе на стадии практического применения технологий) проводится научно-исследовательскими организациями и учреждениями, вузами и другими отвечающими требованиям закона [2, 3] юридическими лицами (независимо от форм собственности), специально формируемыми коллективами (экспертными советами, группами, комиссиями) и физическими лицами. При этом за организационным персоналом форсайта закреплены обработка результатов экспертизы и их реализация. В структуре управленческих подходов в форсайт-исследованиях инновационного развития различают методологические аспекты, касающиеся непосредственно экспертизы: основные принципы форсайта (например, системность процесса, основанного на использовании экспертами имеющейся информации); составляющая ромба форсайта (экспертиза и технологии обработки неструктурированной информации — извлечение экспертного знания); основные факторы, определяющие выбор технологий (методов и форм) форсайт-исследований; качественные и количественные методы форсайта [1].

Законодательство [2, 3], во-первых, устанавливает общие принципы экспертизы научной и научно-технической деятельности, в которых отмечается необходимость проведения экспертиз в ряде направлений, во-вторых, определяет предмет, формы, разновидности экспертизы и порядок её проведения, в-третьих, предусматривает права и обязанности субъектов экспертизы, однако не отмечает задачи и ЭО, а также при известном множестве ведомственных актов, относящихся к близким сферам деятельности (см., например, работу [4]), в нём отсутствует нормативно-правовое обеспечение в виде положения (утверждённого правового акта, предписывающего свод соответствующих норм и правил). Таблица 1 иллюстрирует

Таблица 1

«Объекты-предметы» и «продукты-условия» экспертизы

Структура объектов и предметов	Продукты и условия организации научно-технической экспертизы, её проведения и управления
Основные задачи экспертизы как объективного комплексного исследования ЭО	Объективное комплексное исследование ЭО; проверка соответствия ЭО требованиям и нормам действующего законодательства; оценка соответствия ЭО современному научному, техническому и технологическому уровню, тенденциям и приоритетам научно-технического развития, государственной научно-технической политике, требованиям экологической безопасности и экономической целесообразности; анализ эффективности использования имеющегося научно-технического потенциала, оценка результативности НИОКТР; прогнозирование научно-технических, социально-экономических и экологических последствий реализации программ, проектов, предложений, являющихся ЭО; определение целесообразности бюджетного/внебюджетного финансирования ЭО; подготовка экспертных заключений (в том числе, рекомендаций инвестиционного характера); привлечение научной общественности к организации научных исследований и повышению эффективности экспертизы
Направления экспертиз	Выбор приоритетных направлений государственной научно-технической политики, а также развития науки и техники; формирование научных и научно-технических программ и проектов; проведение конкурсов на участие в научных и научно-технических программах и проектах, контроль за их осуществлением и использованием полученных результатов
ЭО	Проекты, программы, технологии, предложения различного уровня и содержания, по которым необходимо провести научно обоснованный анализ и дать заключение о целесообразности их принятия, внедрения, дальнейшего использования, распространения; действующие образцы техники (в том числе военной), промышленные объекты, сооружения, природные образования, оборудование, аппаратура, приборы, устройства, материалы, технологии, в отношении которых требуются научно обоснованные экспертные заключения
Объекты, подлежащие обязательной экспертизе	Государственные федеральные и национальные научные, научно-технические и технологические программы; межгосударственные научные и научно-технические программы, реализуемые на основе международных договоров Российской Федерации в пределах её территории; региональные научные, научно-технические, технологические программы и проекты, направленные на развитие экономики и социальной сферы субъектов Российской Федерации; отраслевые и межотраслевые программы в сфере научной, научно-технической и технологической деятельности; инновационные программы и проекты, финансируемые из государственного бюджета, государственных внебюджетных фондов, бюджетов субъектов Российской Федерации; диссертационные исследования, рационализаторские предложения, изобретения; проекты законодательных, нормативных и административных актов по регулированию деятельности в научно-технической сфере
Объекты, подлежащие экспертизе по инициативе компетентных организаций и учреждений	Отдельные научно-технические и технологические проекты, научно-техническая продукция различной направленности; НИР фундаментального и прикладного характера; ОКТР и комплексы работ, выполняемых на основе технических заданий на разработку документации; научные работы (специально подготовленные рукописи, доклады, монографии и пособия); технико-экономическое обоснование, концепт- и бизнес-планы инвестиционных проектов; процессы внедрения результатов научных исследований и разработок, прочие виды научной, научно-технической и технологической деятельности; диссертационные исследования, рационализаторские предложения, изобретения; другие объекты научно-технической деятельности, в отношении которых необходимо проведение экспертизы
Основные принципы экспертизы	Компетентность и высокий профессиональный уровень лиц, учреждений и организаций, проводящих экспертизу; независимость и правовая защищённость участников экспертного процесса; ориентация на мировой уровень развития науки и техники, нормы и правила технологической и экологической безопасности, требования стандартов и международных соглашений; системность организации экспертной работы, нормативное и научно-методическое обеспечение; учёт общественного мнения по ЭО; ответственность за достоверность, полноту и обоснованность рекомендаций; гласность экспертизы

Окончание табл. 1

Структура объектов и предметов	Продукты и условия организации научно-технической экспертизы, её проведения и управления
Разновидности экспертизы	Предварительная экспертиза; первичная экспертиза; повторная экспертиза; дополнительная экспертиза; контрольная экспертиза
Факторы, определяемые договором на организацию и/или проведение экспертизы	Стороны — участницы договора; предмет и объекты экспертизы; условия проведения экспертизы; права и обязанности сторон; сроки проведения экспертизы; срок, в течение которого заключения экспертизы сохраняют силу; порядок взаимных расчётов и условия, влияющие на изменение или прекращение договорных отношений; ответственность за невыполнение или ненадлежащее выполнение условий договора; ответственность за достоверность заключения экспертизы; срок действия ответственности и лица, на которые она возлагается по отдельным разделам или экспертизе в целом; другие существенные условия, вытекающие из специфики ЭО
Статус экспертизы	Государственная экспертиза; общественная экспертиза; специализированная экспертиза
Ответственные за проведение государственной экспертизы	Федеральные органы государственной власти и управления; органы государственной власти и управления субъектов Российской Федерации; органы местного самоуправления; предприятия, учреждения и организации, специально создаваемые коллективы, физические лица (по поручению государственных органов)
Ответственные за проведение общественной экспертизы	Общественное внимание и контроль (по инициативе общественных объединений, трудовых коллективов, собраний акционеров, отдельных граждан на согласительной или договорной основе) в любой сфере научно-технической деятельности
Ответственные за проведение специализированной экспертизы	Учреждения, предприятия и организации различных форм собственности и подчинения, а также специализированные экспертные организации (уставная деятельность которых это предусматривает) по инициативе физических и юридических лиц, заинтересованных в получении экспертных заключений по отдельным/частным проблемам
Сертификация экспертной деятельности	Физические лица (осуществляющие на постоянной и/или профессиональной основе экспертную деятельность) и юридические, в уставах которых она предусмотрена, проходят обязательную государственную сертификацию с получением сертификата, подтверждающего квалификацию получателя в организации/проведении экспертизы; порядок государственной сертификации, система сертификации и форма сертификата определяются органом, уполномоченным Правительством Российской Федерации
Основные юридические документы, регламентирующие отношения между субъектами экспертизы	Договор на организацию экспертизы (между заказчиком и организатором); договор на организацию и проведение экспертизы (между заказчиком и организатором или между заказчиком, организатором и экспертами); договор на проведение экспертизы (между заказчиком и экспертами или между организатором и экспертами)
Статус заключения госэкспертизы	Заключение — обязательный документ, принимаемый к рассмотрению и учитываемый при выработке решений, для обоснования которых проводилась экспертиза

попытку восполнить этот пробел путём обобщения и «увязывания» с законодательными установками основных задач, направлений, объектов, принципов, разновидностей, факторов, статусов, ответственных, сертификации, юридических документов и обязательности заключения экспертизы с продуктами и условиями управления экспертизой.

Особенности получения, измерения и обработки результатов экспертизы. Задачи инновационного развития группируют и подразделяют на группы [4]:

1. *Неструктурированные задачи* (количественные зависимости между основными характеристиками таких задач неизвестны, задачи имеют только качественное описание, которое основано на суждениях лица, принимающего волюнтаристические решения).

2. *Структурированные задачи* (характеризуются зависимостями, выражаемыми количественно; применимы, например, исследование операций и теория принятия оптимальных решений). При этом СППР акцентированы на принятие решений в условиях многокритериальности, а процесс принятия решений состоит из этапов формирования решения (разработка альтернатив) и выбора альтернатив. Эффективная СППР совместима с компьютерными приложениями поддержки, взаимодействие которых может быть рассмотрено на основании онтологического подхода к созданию СППР.

3. *Слабоструктурированные задачи* (занимают промежуточное положение между предыдущими двумя группами и сочетают количественные и качественные зависимости, причём малоизвестные и неопределённые стороны задач имеют тенденцию доминировать, исследование операций и онтология «не работают» — математика и компьютеры бессильны). Один из подходов к выделению базисных факторов — когнитивный образ ситуации (когнитивная модель, когнитивное моделирование) в сознании экспертов (или лиц, принимающих решения), формализуемый с использованием аппарата теории графов и построением когнитивной карты путём опроса (экспертов или лиц, принимающих решение), которая отражает описательный подход к принятию решения в сложившейся ситуации. Другой подход основан на применении PEST-анализа, выделяющего группы факторов, определяющих поведение ЭО: политика, экономика, общество (социокультурный аспект), технология. Ещё один подход к решению — SWOT-анализ, который предполагает анализ проблемной ситуации путём рассмотрения сильных сторон, недостатков (слабых сторон), возможностей и угроз. Эти задачи характерны для организации эффективного управления инновационным развитием, когда необходима ориентация на качественно-количественный анализ многофакторных ситуаций при их новизне, недостаточности имеющейся информации и невозможности математической формализации решения. Тогда приходится обращаться к рекомендациям компетентных специалистов (экспертам), владеющих методом экспертных оценок, который включает в себя следующие составляющие: интуитивно-логический анализ задачи (когнитивный подход); решение и выдача количественно-качественных оценок; обработка результатов решений (формальные методы, математические процедуры получения групповых оценок и итогового результата, использование техники для оперативности и минимизации ошибок). В условиях недостаточно полной (или недостоверной) информации метод экспертных оценок, как правило, даёт приемлемые результаты. Используются различные формы проведения экспертизы: дискуссия, анкетирование, интервьюирование, мозговой штурм, совещание, деловая игра и др., а иногда эти формы используются в комплексе. Распространённой формой проведения экспертизы признан метод Дельфи — систематический способ обобщения оценок экспертов, наиболее формальный из всех экспертных и реализующий заочность, многоуровневость и анонимность, обладающий преимуществами перед методами, основанными на статистической обработке результатов индивидуальных опросов, позволяющий снизить колебания по совокупности индивидуальных ответов и ограничивающий колебания внутри групп, когда для определения правильного решения с помощью серии последовательных действий (опросов, интервью, мозговых штурмов) добиваются максимального консенсуса. Метод Дельфи целесообразно применять, когда привлекаемые эксперты компетентны не во всей проблеме, а в её составляющих. В этом случае он способствует выработке независимости мышления экспертов и обеспечивает групповую объективность оценки. Однако из-за субъективности оценок каждого эксперта реализация метода требует много времени и организационных усилий, поэтому на уровне ведомственной экспертизы чаще используют альтернативные методики, связанные с выбором из числа ожидаемых наиболее реального варианта.

На этапах подготовки и проведения экспертизы качество экспертных оценок в значительной степени определяется именно уровнем подготовки экспертизы, а также применяемыми методами обработки получаемой от экспертов информации. Единых правил подготовки и проведения экспертизы нет, однако можно выделить основные этапы (и их последовательность): от формулирования цели экс-

Таблица 2

Основные этапы подготовки и проведения экспертизы

№ п/п	Этапы подготовки и проведения экспертизы
1	Формулирование цели экспертного анализа
2	Формирование группы организаторов экспертизы (для сбора и обобщения мнений экспертов)
3	Разработка процедур проведения экспертной оценки
4	Подбор экспертов (формирование экспертной группы из специалистов, владеющих спецификой поднятой темы)
5	Подготовка анкеты с обозначением ЭО, проблем и уточняющих вопросов (формулировки должны быть чёткими, однозначно трактуемыми и предполагать однозначные ответы)
6	Получение экспертных оценок (проведение опроса в соответствии с методикой, допускающей необходимость повторения процедуры), которые могут являться основой для формулирования вопросов следующего этапа
7	Обработка результатов опроса, обобщение экспертных заключений и анализ полученных данных
8	Установление степени достижения цели экспертизы и выдача рекомендаций по её результатам

пертного анализа до установления степени её достижения и выдачи рекомендаций (табл. 2).

В рамках СППР рациональное использование информации, получаемой от экспертов, возможно при условии преобразования её в форму, удобную для дальнейшего анализа, хотя часто формализация информации направлена на подготовку решения задач, которые не могут быть в полной мере описаны математически. Трудность при оценивании — помимо явлений, объектов и факторов, состояние которых может быть выражено количественно, приходится оценивать качественные факторы, уровень которых нельзя определить точно, и часть информации, не поддающуюся количественному измерению, необходимо представить в виде косвенных оценок. Если эксперт способен сравнить и оценить какие-либо явления, объекты, факторы, варианты действий, дав каждому из них количественную оценку, то считается, что он обладает определённой системой предпочтений. В зависимости от того, по какой шкале заданы предпочтения, оценки содержат больший или меньший объём информации и обладают различной возможностью формализации; при этом различают следующие типы шкал (принятой системы правил) оценки/измерения объектов или явлений: номинальную, порядковую, интервальную и шкалу отношения. Формирование экспертных оценок зависит от способов (техники) измерения ЭО, позволяющих расположить их на порядковой или интервальной шкале. Этот тип оценок используется чаще, так как оценка по номинальной шкале предполагает лишь два варианта ответов («да» или «нет»), а по шкале отношения измеряются факторы, имеющие количественный характер, значения которых получают расчётным путём (без экспертных оценок). Из способов оценки по порядковой или интервальной шкале чаще применяются ранжирование, парное сравнение и непосредственная оценка.

На базе количественных и качественных методов индивидуальных экспертных оценок получают обобщённую информацию об исследуемом объекте/явлении и формируют решение (заключение). Выбор метода зависит от сложности решаемой проблемы, формы, в которой представлены мнения экспертов, и целей экспертизы, но чаще при обработке результатов используют методы математической статистики. В зависимости от целей экспертизы при обработке оценок формируются обобщённые оценки, определяются относительные веса факторов/объектов, устанавливаются степени согласованности мнений экспертов и др. При формировании обобщённой оценки группы экспертов обычно используют средние величины (например, медиану) или точечную оценку (среднее арифметическое). Иногда требуется оценить важность (существенность) фактора/объекта по какому-либо критерию (т. е. установить относительный вес фактора/объекта): один из методов оценки весов — определение среднего арифметического весов, рассчитанных по оценкам каждого эксперта. Групповая оценка считается достаточно надёжной при условии её согласованности; установление степени согласованности мнений нескольких экспертов необходимо, так как расхождения в оценках неизбежны, но величина расхождения может иметь значение. Для анализа разброса и согласованности применяются статистические характеристики — меры разброса (меры согласованности мнений экспертов): вариационный размах, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, методы ранжирования с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмэна или коэффициента конкордации [4].

Организация отечественной научно-технической экспертизы. Для выполнения форсайт-исследований инновационного развития на долгосрочный период Минобрнауки России может использовать/назначить многопрофильную организацию в качестве головной с возложением обязанностей организации и проведения государственной экспертизы (включая экспертизу изделий и технологий для экспортного контроля), сертификации экспертных услуг (табл. 3), а также содействия созданию в регионах системы (подсистем) государственной экспертной деятельности.

Необходимость создания ЕСГЭ (см. табл. 3, работы [4, 13, 14]) обусловлена спецификой проблемных ситуаций, недостаточным обоснованием некоторых управленческих решений и, как следствие, снижением эффективности использования выделяемых на развитие отраслей экономики бюджетных средств, инфраструктурные преобразования, технологическую модернизацию. Наметившиеся контуры задач (от концептуальных до конкретных) ситуационного управления и сведения о сопутствующих процессах позволяют судить о функциях (административных, производственных, контрольных, вспомогательных) ЕСГЭ как исполнительных механизмах максимизации возможностей СППР. Актуальны организация и функционирование ЕСГЭ в направлениях формирования единого технологического цикла работ, определения основных его

Таблица 3

Роль головной организации в сфере научно-технической экспертизы (на примере ФГБНУ «Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» в условиях возрастающего экспертного мнения РАН в соответствии с национальным проектом «Наука» [5, 6])

Назначение, направления деятельности и функции головной организации	Основания, формы и пути развития экспертизы головной организацией
Независимая госэкспертиза программ и проектов, НИОКТР и отчётов, инвестиционных проектов любого уровня (международных, федеральных, ведомственных и региональных) и происхождения (от государственных и негосударственных организаций любой формы собственности)	Нормативно-правовые акты функционирования, перспектив и путей развития государственной экспертизы. Нормативно-правовые основы функционирования головной организации в сфере государственной экспертизы определяют перспективы и пути развития, которые изначально определены соответствующими законами, приказом, постановлением и положениями [2, 3, 7—12]
Экспертиза при подготовке новых научно-технических предложений, проведении конкурсов проектов и программ, поиске инвесторов, объектов и оценке рисков инвестиций, подготовке документов для получения грантов, инвестиций	Представление материалов на экспертизу в установленных виде и порядке
Заключение по результатам работы, содержащее оценку значимости и новизны предложения, его осуществимости, конкурентоспособности продукции на мировом рынке, адекватности предполагаемой стоимости работ экономической эффективности инвестиций	Передача головной организацией заявителю заключения государственной экспертизы — документа, имеющего официальный статус
Исключение дублирования работ и их тематики	Поиск аналогов по имеющимся в распоряжении базам данных
Конфиденциальная экспертиза с учётом частного мнения компетентных специалистов (в том числе в патентной литературе и состоянии рынка)	Результаты экспертизы являются собственностью заказчика и не подлежат распространению без его официального разрешения
Авторитет экспертизы (её эффективность, качество, весомость и объективность) как результат многолетней и разнообразной деятельности	Заключения принимаются Администрацией Президента России, Правительством России, Советом Федерации, Государственной Думой, Минобрнауки России, Российским фондом фундаментальных исследований, Российским фондом технологического развития, Международным научно-техническим центром, Правительством Москвы и администрациями других регионов России
Регистрация в Госстандарте России серии стандартов предприятия (СТП)	Создание типового технологического процесса экспертизы (программ и проектов) с обеспечением организации и проведения не менее 1000 экспертиз в год

Окончание табл. 3

Назначение, направления деятельности и функции головной организации	Основания, формы и пути развития экспертизы головной организацией
Сертификация и стандартизация экспертных услуг (с 1996 г.)	Для создания системы сертификации Госстандартом России: 1) принято решение о признании экспертизы в сфере науки в качестве услуги, а деятельность головной организации в сфере экспертизы и научного консультирования сертифицирована; 2) головная организация аккредитована в качестве органа по сертификации экспертных и консультационных услуг в научно-технической сфере; 3) на базе головной организации и Всероссийского научно-исследовательского института сертификации создан Технический комитет по стандартизации услуг в научно-технической сфере, на который, в частности, возложены функции подготовки проектов ГОСТов на услуги экспертизы в научно-технической сфере
Создание Реестра экспертов научно-технической сферы (информационного продукта) [7, 8], охватывающего примерно 500 научных направлений и предназначенного для ресурсного обеспечения реализации статей федерального закона [2, 3]	Возможность (на основе стандартизированного типового технологического процесса экспертизы и с привлечением включённых в Реестр экспертов) выполнения практически неограниченного спектра государственных экспертиз
Экспертиза (с отбором перспективных идей, формулированием доработок, определением объёмов затрат, снижением рисков и исключением дублирования работ) — инструмент повышения результативности научно-технической деятельности, финансируемой из федерального бюджета	С использованием типового технологического процесса экспертизы (на основе СТП) представление заказчикам экспертных заключений с аргументированными рекомендациями по поддержке или отклонению проекта/предложения/программы. Исходя из необходимости повышения качества экспертизы и минимизации обеспечивающих финансовых затрат особую роль отводят квалификации экспертов и их составу
При поступлении сформированных заказчиком ЭО (результаты научно-технической деятельности, федеральные целевые программы и др.) отбор экспертов (в частности, из Реестра) и организация проведения экспертизы с использованием типового технологического процесса	В процессе экспертизы формируется экспертное заключение, которое после рассмотрения руководством головной организации направляется заказчику (на этом проведение экспертизы завершается)
Среднегодовое распределение результатов экспертных оценок, характеризующее продуктивность экспертизы головной организации и эффективность научно-технической деятельности, финансируемой из федерального бюджета	Статистические данные примерно за 30 лет: безусловная поддержка проектов имеет место примерно в 10 % случаев; поддержка с условием каких-либо доработок — в 40 %; остальные заявки отклоняются. С учётом повторной экспертизы дорабатываемых проектов (программ, предложений) количество качественно подготовленных экспертиз не менее 15 %
Совершенствование технологических процессов проведения экспертизы	На основе информационных технологий и сетевых коммуникаций создана система дистанционной экспертизы, апробированная при проведении конкурсов по грантам Президента Российской Федерации (для поддержки молодых учёных и ведущих научных школ), получившая высокую оценку Совета по грантам и открывающая возможность оказания квалифицированных экспертных услуг регионам страны, предприятиям и организациям различных отраслей экономики
Обусловленность нахождения головной организации в системе Минобрнауки России и перспективы организации госэкспертизы в сфере науки	Министерство определяет научно-техническую политику и модернизацию экономики страны (на основе технологического обновления производственной базы с использованием результатов инновационной деятельности мирового уровня и с привлечением отечественных и зарубежных учёных, подведомственных исследовательских организаций и вузов); формирует и финансирует научную сферу (государственные целевые программы, инновационные проекты, экспертизы и пр.). Дальнейшее развитие экспертизы связано с перспективой создания государственной отраслевой (учитывающей специфику и потребности министерской СППР) и/или многоотраслевой Единой системе государственной экспертизы (ЕСГЭ)

участников, цели, состава, структуры, задач, обязанностей и выполняемых функций, ЭО, субъектов (участников экспертного процесса), принципов организации, методологии, технологической и материально-технической базы, правового обеспечения, закрепления нормативов в стандартах, регламентах, положениях и в конечном счёте в модельном (желательно в федеральном) законе. Прообразы ЕСГЭ — начальные варианты проекта Государственной системы учёта результатов интеллектуальной и научно-технической деятельности, не получившего окончательного завершения, но продвинувшего разработки средств автоматизации решения организационных задач СППР.

Цель (целевая установка) ЕСГЭ — устранение неопределённости в подготовке и принятии управленческих решений, повышение их качества и объективности, стать инструментом СППР. Состав ЕСГЭ — объединение отраслевых (ведомственных, специализированных, профильных, предметных) экспертных систем, функционирование которых связано со спецификой отраслей экономики и направлений деятельности. Отраслевые системы становятся подсистемами ЕСГЭ с присущими организационно-технологическими приёмами проведения экспертиз и взаимодействия с экспертными сообществами, сориентированными на унифицированные формы представления результатов. Каждая отраслевая система (подсистема 1) может подразделяться на подсистемы, к которым относятся блоки взаимодействия с экспертами, анализа и обработки получаемых данных, технического сопровождения проводимых работ и т. д. (подсистемы 2, 3, ...). Структуре ЕСГЭ характерна множественность и разветвлённость информационных, функциональных, административных связей между составляющими подсистемами. Практикой оправдана следующая схема взаимодействия субъектов (участников) экспертного процесса:

заказчик — юридическое лицо (орган исполнительной власти федерального уровня), заинтересованное в независимом экспертном оценивании ЭО и располагающее необходимым административным, финансовым и информационным ресурсом;

организатор — юридическое лицо, выполняющее организационно-технические и аналитические функции по поручению заказчика;

коллектив экспертов — исполнители оценочной работы (специалисты, приглашаемые для изучения относящихся к ЭО материалов, их обобщения и подготовки экспертных заключений).

Предполагается, что субъекты обеспечат гармонизацию основных принципов экспертизы (см. табл. 1) и предлагаемых принципов ЕСГЭ (табл. 4), сформулированных в разных источниках (публикациях, документах, законодательных инициативах) и отражающих смысл ЕСГЭ.

Отдельного рассмотрения требует возможность разделения экспертного процесса на «бы-

Таблица 4

Предполагаемые принципы ЕСГЭ

№ п/п	Принципы ЕСГЭ
1	Государственный статус экспертизы, отражённый в названии и устанавливающих её актах
2	Необходимость проведения экспертизы при подготовке решений органами власти и другими государственными структурами
3	Повторность экспертизы в случаях возникновения спорных (конфликтных) ситуаций, нарушения требований нормативных документов, появления иных непредвиденных обстоятельств
4	Независимость и правовая защищённость участников экспертного процесса при выполнении ими своих функций
5	Единство нормативно-методической и организационной базы экспертной деятельности как фактора, способствующего сопоставимости и объяснимости оценок и заключений, получаемых от разных источников
6	Объективность, научная обоснованность, доказательность выводов экспертизы, приравнивающих её к разновидности научного исследования, проводимого в определённых (специализированных) условиях
7	Кадровая обеспеченность экспертной работы, требующей профессионального отбора претендентов для её выполнения и взаимодействия с ними в рамках устанавливаемых служебных и договорных отношений
8	«Прозрачность» экспертного процесса на всех его этапах при соблюдении условий и ограничений, устанавливаемых законодательством Российской Федерации

Окончание табл. 4

№ п/п	Принципы ЕСГЭ
9	Введение необходимых норм безопасности при исследовании, испытаниях и эксплуатации ЭО
10	Информационное и иное взаимодействие подсистем 1 при выполнении ими совместных или близких экспертных заданий, других предметных или организационных задач
11	Унификация правил, способов, средств отображения и представления результатов экспертизы заказчикам и заинтересованным лицам согласно действующим (утверждённым) нормативным документам
12	Экономическая эффективность экспертизы с приемлемыми затратами на её организацию и проведение (с экономией бюджетных средств)
13	Использование современных информационных технологий и средств автоматизации процессов взаимодействия участников экспертизы как основы эффективного функционирования ЕСГЭ

струю» и «медленную» составляющие. Кроме того, приемлемый выход из разногласий и спорных ситуаций из-за расхождения между выводами ЕСГЭ и дополнительными соображениями, влияющими на позиции принимающего управленческие решения заказчика, — проведение повторной экспертизы, направленной на их устранение (п. 3 табл. 4). Несмотря на декларативный характер отмеченных принципов (см. табл. 4), их принятие будет способствовать совершенствованию методологии экспертизы и СППР. В общем виде эти принципы находят отражение и объяснение в последовательности основных этапов экспертного процесса, реализация которых возлагается на ЕСГЭ и её подсистемы 1 (табл. 5).

Таблица 5

Этапы экспертного процесса на уровне ЕСГЭ

№ п/п	Основные этапы деятельности ЕСГЭ
1	Выбор заказчиком экспертизы ЭО и представляющей его информации (описание ЭО, заявленные характеристики, заложенный потенциал и т. п.), чем определяются направления экспертизы и информационные рамки её проведения
2	Разработка организатором экспертизы анкеты эксперта с перечнем вопросов и вариантов ответов на них (применительно к ЭО), а также инструкций по заполнению анкеты и оформлению результатов оценивания ЭО
3	Согласование разработанных форм анкеты и инструкций с заказчиком экспертизы и их утверждение в качестве официальных документов
4	Формирование организатором экспертизы группы/коллектива экспертов (для оценки ЭО) в соответствии с утверждёнными документами и обсуждение состава этой группы/коллектива с заказчиком
5	Получение согласия экспертов на выполнение работы по оценке ЭО и заключение организатором экспертизы договоров с ними
6	Выдача организатором экспертизы заданий экспертам (согласно заключённым договорам) и сопутствующих материалов (анкет, инструкций, исходной информации об ЭО)
7	Подготовка экспертами ответов на вопросы анкеты путём выбора альтернативных вариантов (из содержащихся в анкете), выставление оценок с краткими комментариями своих решений
8	Оформление экспертами подготовленных решений об ЭО в форме, установленной инструкцией (с приложением краткого комментария), передача этой информации организатору экспертизы и завершение договорных отношений с ним
9	Анализ организатором экспертизы полученных экспертами результатов и подготовка на их основе исходных данных для окончательной машинной обработки
10	Машинная обработка данных экспертизы и отображение итогового результата в удобной для восприятия форме (например, графической); анализ организатором экспертизы этого результата, подготовка для заказчика аналитической записки с приложением полученных материалов, их окончательное документальное оформление
11	Создание архивной копии документально оформленного пакета документов и официальная передача пакета заказчику экспертизы

ЕСГЭ — система преобразований информации и организации информационных обменов, поэтому её технологическая и материально-техническая базы предполагают применение современных информационных технологий (комплекс технических средств подсистем 2 и следующих уровней). Наверное, лучший вариант многоаспектного правового обеспечения ЕСГЭ — разработка и принятие федерального закона (подобно модельному закону о государственной экспертизе, принятому Межпарламентской Ассамблеей государств — участников СНГ [8], переданному в Государственную Думу Федерального Собрания Российской Федерации, невостребованному, но не утратившему актуальности). В будущем нормативный документ подобного уровня, скорее всего, появится, поэтому имеет смысл после соответствующих обсуждений принятие его концепции (как рабочего документа) с подготовкой отраслевых положений о ЕСГЭ, приказов министерств (или согласованного межведомственного приказа) и правительственного постановления.

Заключение. Системообразующая роль государственной научно-технической экспертизы определяется методологией управления форсайт-исследованиями, в которой экспертиза является инструментом. Анализ особенностей получения, измерения и обработки результатов экспертизы показывает перспективность методов экспертных оценок, а сложившаяся система отечественной экспертизы предполагает дальнейшее её развитие как части СППР. Для нормативно-правового обеспечения, предписывающего соответствующий свод норм и правил, представляется целесообразной разработка и введение Минобрнауки России Положения о государственной отраслевой экспертизе в научной и научно-технической сфере. Кроме того, перспективы экспертизы определённо связаны с активизацией инициатив головной организации, созданием государственной отраслевой (учитывающей специфику и потребности министерской СППР) и/или многоотраслевой ЕСГЭ.

Библиографические ссылки

1. **Елисеев В.А., Сажин В.А.** Методологические аспекты управления форсайт-исследованиями инновационного развития // Автоматизация. Современные технологии. 2019. № 3. С. 128—134.

2. **Федеральный** закон от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». Ст. 14. Организация и проведение экспертиз научной и научно-технической деятельности.

3. **Федеральный** закон от 21 июля 2011 г. № 254-ФЗ о внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике».

4. **Елисеев В.А.** Ведомственная экспертиза инновационных проектов и программ // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 9. С. 37—48.

5. **Указ** Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

6. **Механик А.Г.** РАН становится главным научным экспертом // Эксперт. 2019. № 5. С. 46—51.

7. **Приказ** Министерства науки и технической политики Российской Федерации от 19 марта 1996 г. № 42 «О создании Федерального реестра экспертов научно-технической сферы».

8. **Приказ** Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 мая 2014 г. № 556 «Об утверждении квалификационных требований к экспертам, требований к экспертным организациям, порядка их аккредитации, в том числе порядка ведения реестра экспертов и экспертных организаций, порядка отбора экспертов и экспертных организаций для проведения аккредитационной экспертизы».

9. **Модельный** закон от 15 ноября 2003 г. № 22-17 «О государственной экспертизе» (принят постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств—участников СНГ).

10. **Постановление** Совета Министров РСФСР от 1 апреля 1991 г. № 182 «О введении государственной экспертизы в сфере науки».

11. **Положение** об экспертизе в сфере научной деятельности учебных заведений и организаций Государственного Комитета Российской Федерации по высшему образованию (утв. приказом Госкомвуза России от 17 августа 1994 г. № 841).

12. **Положение** об экспертизе в системе Миннауки России проектов, имеющих своей целью коммерциализацию результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (утв. приказом Миннауки России от 5 октября 1999 г. № 175).

13. **Белоусов В.Л., Бондарь В.В., Елисеев В.А., Рыбаков Ю.Л.** Роль государственной научно-технической экспертизы в национальной информационной системе. «Материалы 8-й Междунар. конф. «Актуальные проблемы информационного обеспечения науки, аналитической и инновационной деятельности». М.: ВИНИТИ РАН, 2012. С. 7—9.

14. **Белоусов В.Л., Дегтярёв Ю.И., Сергеев М.В.** Концептуальные основы формирования многоотраслевой системы государственной экспертизы // Автоматизация и современные технологии. 2013. № 6. С. 30—38.

Ссылка для цитирования

Елисеев В.А., Сажин В.А. Экспертиза в форсайт-исследованиях инновационного развития // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 9. С. 421—431.

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Морфологический подход к автоматизации создания технических систем на этапе технического предложения. *Вестник машиностроения.* 2019. № 3.

Рассматривается применение дискурсивных и интуитивных методов при создании технических систем на этапе технического предложения, одним из которых является расширенный морфологический подход. Он позволяет уточнить и упорядочить структуризацию решаемой задачи, повышает обоснованность решения и расширяет множество вариантов, из которых делается выбор, что повышает качество разрабатываемых систем.

Виртуальное моделирование тягово-динамических показателей сельскохозяйственной техники. *Вестник машиностроения.* 2019. № 3.

Разработаны кинематическая модель коробки переключения передач (КПП) и упрощённая кинематическая модель трактора с учётом технической характеристики используемого ДВС, соответствующие требованиям Промышленного Партнёра к основным параметрам КПП. Проведены виртуальные испытания трактора по разработанной программе, устанавливающие тягово-динамические показатели и тяговый класс трактора согласно ГОСТ 27021—86 и ГОСТ 30745—2001 (ИСО 789-9—90).

Моделирование процесса формоизменения трубчатых заготовок гидромеханическим деформированием. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2019. Т. 17. № 3.

Проведено аналитическое моделирование процесса формоизменения трубчатых заготовок гидромеханическим деформированием с учётом деформационного упрочнения при разных вариантах приложения внешних сил. Установлена взаимосвязь между параметрами в степенном законе деформационного упрочнения и механическими свойствами деформируемых материалов. Получены аналитические зависимости и дана оценка величин внешних сил, при которых происходит устойчивое деформирование.

Влияние технологии регламентных работ на долговечность высокотемпературного оборудования из сплавов Х25Н35. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2019. Т. 17. № 3.

Экспериментально исследовано влияние скорости охлаждения от рабочей до комнатной температур при регламентных работах на работоспособность высокотемпературного оборудования, изготовленного из сплавов Fe—25Cr—35Ni—0,45C. Изучена структура и определена длительная прочность сплава в различных состояниях. Показано, что ускоренное охлаждение от рабочей температуры существенно повышает устойчивость материала к разупрочнению при дальнейшей эксплуатации оборудования.

Технология повышения ресурса остова составного плужного лемеха путём оптимизации расположения упрочняющего покрытия. *Упрочняющие технологии и покрытия* 2019. Т. 15. № 3.

Предложена технология упрочнения остова составного лемеха, обеспечивающая увеличение ресурса в 1,5...1,7 раза по сравнению с серийным и заключающаяся в наплавке валиков с тыльной и наружной стороны поочерёдно в шахматном порядке, металл которых имеет твёрдость около 62 HRC и в структуре присутствуют включения повышенной твёрдости (80...84 HRA).

Инженерный метод оценки способности металлов и сплавов к деформационному упрочнению. *Упрочняющие технологии и покрытия* 2019. Т. 15. № 3.

Предложен технически простой метод оценки способности металлов и сплавов к деформационному упрочнению путём определения прироста твёрдости при измерении твёрдости по Роквеллу на дне лунки от шарообразного индентора, полученного на приборе Бринелля. На примере экспериментального применения «метода двух твёрдомеров» показано различие в способности к наклёпу двух аустенитных марганцевых сталей. Метод позволяет оценить способность материалов к наклёпу без изготовления специальных образцов и использования деформирующего оборудования.

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Пресса России» — 27838) или непосредственно в издательстве по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок: (495) 785-60-69

Сдано в набор 27.06.2019.
Подписано в печать 22.08.2019.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Канцлер»
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Автоматизация. Современные технологии» обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель