

Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-кор. РАН,
МГТУ им. Н.Э. Баумана

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
Зубов Н.Е. — д.т.н., проф., РКК «Энергия»
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., МИРЭА — РТУ
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 «НППАП
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)
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 Россий-
ского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Издаётся с 1947 г.

Том 75

8
2021

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Загидуллин Р.Р.** Математическая модель задачи определе-
ния мощностей производства 339
- Карелин А.Н., Матигоров В.А., Карелин Е.Н.** Управление ре-
жимами электроснабжения судоремонтного предприятия . . . 342
- Агаев Ф.Г., Асадов И.Х.** Методика оценки эффективности
сжигания углеводородного попутного газа в факелах 350
- Янгиров И.Ф., Халиков А.Р.** Линейный асинхронный дефек-
тоскоп 354
- Дюкин А.А., Микаева А.С., Микаева С.А.** Медицинский ре-
циркулятор 357

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

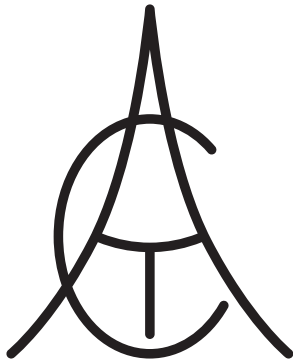
- Алесов М.Б.** Управление сопровождением наземных объек-
тов с летательных аппаратов 364
- Железникова О.Е., Журавлева Ю.А., Микаева С.А.**
Электронное устройство для трансляции текстовой инфор-
мации 370
- Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Высоцкая И.А., Деми-
чев С.Е., Берестовой А.А.** Программно-технические сред-
ства искусственного интеллекта в условиях онлайн-транс-
формации 373

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Шахрай Е.А., Лубенцова Е.В., Лубенцов В.Ф.** Анализ чув-
ствительности влияния параметров регулятора с аппрокси-
мирующим управлением на показатели качества регулиро-
вания 377

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

- По страницам журналов 384



Automation. Modern Technologies

MONTHLY INTERBRANCH SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Chief in Editor

Shakhnov V.A. – dr.en.s., prof., corr. member of RAS,
MSTU behalf of N.E. Bauman

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
Zubov N.E. – dr.en.s., prof., RSC «Energy»
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., MIREA—RTU
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 of 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)
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)

It is published since 1947

Volume 75 $\frac{8}{2021}$

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

- Zagidullin R.R.** Mathematical model for determining production capacities 339
Karelin A.N., Matigorov V.A., Karelin E.N. Management of power supply modes on a ship repair enterprise 342
Agaev F.G., Asadov I.Kh. Methodology for evaluating the popping efficiency of hydrocarbon associated gas in flares 350
Yangirov I.F., Khalikov A.R. Linear asynchronous flaw detector . . . 354
Dyukin A.A., Mikaeva A.S., Mikaeva S.A. Medical recirculator . . . 357

MODERN TECHNOLOGIES

- Alesov M.B.** Control of ground objects escorting from aircraft . . 364
Zheleznikova O.E., Zhuravleva Yu.A., Mikaeva S.A. Electronic device for broadcasting text information 370
Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., Vysotskaya I.A., Demichev S.E., Berestovoy A.A. Artificial intelligence software and hardware in the context of online transformation 373

SYSTEMS AND CONTROL DEVICES

- Shakhray E.A., Lubentsova E.V., Lubentsov V.F.** Analysis of the influence sensitivity for the regulator parameters with approximating control on the factors of the regulation quality 377

REVIEW OF THE PERIODICAL PRESS

- On the journals pages 384



Р.Р. Загидуллин, д-р техн. наук, доц., проф.
(Уфимский государственный авиационный технический университет)

polysoft@list.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрен процесс создания математической модели с помощью аппарата линейного программирования для определения технологических мощностей предприятия при производстве машиностроительной продукции.

Ключевые слова: математическая модель; задача мощностей; математическое программирование; машиностроение.

The process of creating a mathematical model using a linear programming apparatus for determining the technological capacities of an enterprise at the manufacture of machine-building products is considered.

Keywords: mathematical model; capacity task; mathematical programming; machine-building.

Введение. Задача определения мощностей решается на предприятии, когда необходимо по исходной номенклатуре изделий $M\{m\}$ и оборудования $N\{n\}$ определить возможность производства изделий в определённые сроки. Эта задача на машиностроительных предприятиях России, как правило, возложена на технологические службы (в состав отдела главного технолога часто входит специальное подразделение «Бюро мощностей»).

Функция в виде программного модуля иногда присутствует в таких корпоративных системах, как ERP (Enterprise resource planning), APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) и MES (Manufacturing Execution Systems). В то же время разработчики данных систем не представляют пользователям ни математических моделей, ни алгоритмов, что иногда ставит под сомнение качество принимаемых решений.

Небольшие предприятия с мелкосерийным и единичным характером производства, как правило, не могут приобрести указанные корпоративные системы ввиду их высокой стоимости владения, тем более, что требуется только одна функция. Кроме того, при решении задачи мощностей необходимо предварительно определить, на какие рабочие центры (РЦ) назначить те или иные единицы планирования (ЕП) e_{ijk} ($i \in M, j = 1, p_i, k \in N$), где p_i — количество операций у i -й ЕП в виде партий запусков a_i , чтобы минимизировать общую стоимость выполнения всего множества $M\{m\}$.

Поэтому в работе поставлена цель — создать математическую модель такой задачи для её самостоятельной реализации в виде программного кода, например, при создании системы управления предприятием путём интеграции различных решений на базе известной платформы 1С-Предприятие.

Решение задачи. Имеется множество ЕП e_{ijk} , $c_{e_{ijk}}$ — себестоимость обработки каждой ЕП на k -м РЦ, $t_{oe_{ijk}}$ — время обработки ЕП на k -м РЦ, $t_{перe_{ijk}}$ — длительность переналадки РЦ и Φ_k — фонды времени оборудования. Себестоимость переналадки оборудования при обработке ЕП e_{ijk} обозначим как $c_{перe_{ijk}}$. При этом время транспортирования не учитывается, поскольку решается задача не построения расписания, а определения мощностей.

Необходимо составить математическую модель задачи мощностей. Введём булеву переменную x_{ijk} . Её значение равно 1, если ЕП e_{ijk} может быть назначена на k -й РЦ, $x_{ijk} = 0$ в противном случае (т. е. рассматриваем случай, когда предполагается, что любая ЕП может быть изначально рекомендована к обработке на любом РЦ, который может её выполнить по технологическим возможностям). Решение задачи осуществляется в терминах задачи линейного программирования (ЗЛП). Модель будет выглядеть следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} \sum_{k=1}^n x_{ijk} [a_i (c_{e_{ijk}} + c_{перe_{ijk}})] \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} \sum_{k=1}^n x_{ijk} [a_i (t_{oe_{ijk}} + t_{перe_{ijk}})] \leq \Phi_k, k \in N; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} \sum_{k=1}^n x_{ijk} \leq 1; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} \sum_{k=1}^n x_{ijk} \geq 0; \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}; \quad (5)$$

$$F > 0, a_i > 0, t_{oe_{ijk}} > 0, t_{перe_{ijk}} > 0, y_i \in \{0, 1\}. \quad (6)$$

Выражение (1) представляет собой целевую функцию, которая минимизирует себестоимость общего запуска номенклатуры $M\{m\}$ на множество РЦ $N\{n\}$. Выражение (2) отражает ограничение по фонду времени для всего парка РЦ. Выражение (3) позволяет исключить дублирующие запуски ЕП, т. е. даже если её выполнение с помощью переменной x_{ijk} рекомендовано на нескольких РЦ, то выполняться какая-либо ЕП e_{ijk} будет только на одном РЦ (дробление запуска не предусматривается). Кроме того, значение x_{ijk} может быть равным нулю, когда превышаются фонды времени РЦ. Поскольку отрицательных значений x_{ijk} быть не может, то вводим ограничение в виде выражения (4) при том, что область существования переменной x_{ijk} описывается выражением (6) (в математических пакетах иногда приходится перестраховываться, чтобы область существования переменной не вышла за требуемые рамки). По этой причине в выражении (3) не могут быть получены отрицательные решения. Выражение (6) описывает область существования переменных.

После расчёта становятся известными значения x_{ijk} . Если после решения все значения $x_{ijk} = 1$ и фонды времени Φ_k не нарушены, то задача решена. Если хотя бы одно значение $x_{ijk} = 0$ из всего множества ЕП, то необходимо провести проверку по следующему выражению:

$$x_{ijk} (i \in M, j = 1, p_i, k \in N) = 0 \mid \exists x_{irq} (r = 1, p_r, k \in N) = 0. \quad (7)$$

При отсутствии условия предшествования ЕП может получиться так, что хотя бы одна ЕП e_{ijk} на i -й детали не вошла в назначение по причинам либо нарушения фонда времени k -го РЦ, либо нарушения длительности горизонта планирования, если он задан. Например, из десяти операций не вошла шестая. Тогда нет смысла назначать операции с первой по пятую

и с седьмой по десятую. При этом, если выражение (7) истинно, то данная деталь удаляется из общего множества M и расчёт проводится вновь по модели (1)—(6) либо увеличиваются фонды времени некоторых РЦ.

Расчёты по модели (1) — (6) с проверкой по условию (7) ведутся до тех пор, пока все значения x_{ijk} не приобретут значение 1. Если увеличить фонды времени РЦ не удаётся, тогда данные ЕП удаляются из множества M .

В задачах оценки мощностей, которые, по сути, являются объёмными моделями, вместо горизонта планирования θ , как это делается в моделях MES-систем, целесообразнее использовать фонды времени Φ_k , которые выполняют ту же функцию, но дифференцированно относительно различных РЦ. При этом состав целевых функций в таких задачах весьма ограничен. Вместо выражения (1) можно использовать целевую функцию, которая бы приводила к выравниванию нагрузки между РЦ, если для ЕП e_{ijk} существуют альтернативы назначения на другие единицы РЦ. Но критерий стоимостного характера (1) является предпочтительней. Кроме того, критерий равномерной загрузки РЦ в ЗЛП реализовать довольно сложно, так как модель получается громоздкой.

Данная модель может быть решена с помощью пакета символьной математики, например, пакета Maple. Но в таких пакетах графические возможности не позволяют представить необходимый вид диаграммы, поэтому в качестве иллюстрации решения данной задачи использовалась MES PolyPlan, где реализована данная модель.

На рис. 1 представлена соответствующая диаграмма Ганта.

Заштрихованные области на диаграмме означают переналадки. На некоторые РЦ попали ЕП с одинаковыми номерами, что означает разные операции одной и той же детали.

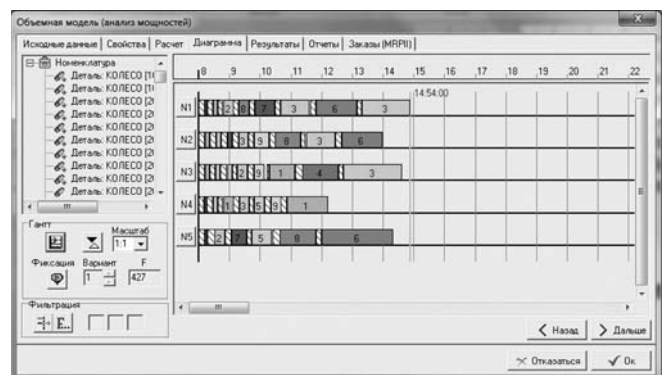


Рис. 1. Диаграмма Ганта для задачи определения мощностей

Особенности разработки алгоритма решения задачи. Алгоритм задачи целесообразно строить на базе метода ветвей и границ (МВГ). Несмотря на то, что данный алгоритм имеет довольно высокую вычислительную сложность, при решении данной задачи она будет ниже регламентируемой, поскольку из-за отсутствия условия предшествования сводится к задаче построения расписаний для одностадийных систем [1].

В литературе часто приводятся основы МВГ [2], но при самостоятельной разработке программного обеспечения лучше использовать готовые алгоритмы и даже фрагменты программ (программный код). Лучше всего для этого подходят алгоритмы группы Numerical Algorithms Group (NAG), так как в настоящее время она является ведущей в области разработки математических алгоритмов. Например, в наиболее часто применяемом математическом пакете Maple используются алгоритмы именно этой группы. На сайте компании (<https://www.nag.com>) можно найти условно бесплатные библиотеки алгоритмов для различных языков — Fortran, C++ и др. Алгоритмы NAG применяются в течении нескольких десятилетий и имеют компактный и быстродействующий код.

Задача мощностей и расписание. Часто путают диаграмму Ганта для задачи определения мощностей и расписание. Поэтому на рис. 2 приведено расписание от того же состава номенклатуры, что и для задачи определения мощностей.

При этом видно, что время окончания работ значительно увеличилось, что всегда принимается во внимание при планировании. В отличие от плотного расположения ЕП в задаче мощностей, в расписании появились простои оборудования, связанные с ожиданием выполнения предыдущих операций и высвобождения транспортного средства (в данном при-

мере задействовано только одно транспортное средство и оно на диаграмме обозначено литерой «Т»). При этом расписание сместилось, как видно, на вторую смену.

Такая разница между образом задачи определения мощностей и расписанием обусловлена тем, что в задаче построения расписания, в отличие от задачи определения мощностей, учитывается условие предшествования операций. Кроме того, плотность расписания зависит от качества используемого алгоритма и глубины поиска в процедурах оптимизации. В данном примере для построения расписания был использован простой эвристический алгоритм с минимальной глубиной поиска.

Но если задачу определения мощностей можно решить с минимальными затратами, используя математические пакеты, то для расписания используются более сложные и дорогостоящие программные средства — MES и APS [3].

В принципе, для задачи построения расписания можно создать математическую модель в терминах задач целочисленного линейного программирования (ЗЦЛП). Но при этом модель получается довольно громоздкой и её крайне сложно реализовать в математическом пакете. Кроме того, условие предшествования уже не позволяет использовать МВГ ввиду большой глубины графа поиска. Поэтому для построения расписаний класса job-shop-planning в MES-системах используются эвристические алгоритмы.

Заключение. Таким образом, в работе представлена математическая модель в терминах линейного программирования, с помощью которой можно самостоятельно, силами предприятия реализовать такой функционал системы управления, как определение мощностей предприятия при известных множествах номенклатуры выпуска и оборудования.

Библиографические ссылки

1. Танаев В.С., Гордон В.С., Шафранский Я.М. Теория расписаний. Одностадийные системы. М.: Наука, 1984. 384 с.
2. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 496 с.
3. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Полная версия. Старый Оскол: ТНТ, 2019, 416 с.

Ссылка для цитирования

Загидуллин Р.Р. Математическая модель задачи определения мощностей производства // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 339—341. DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-8-339-341.

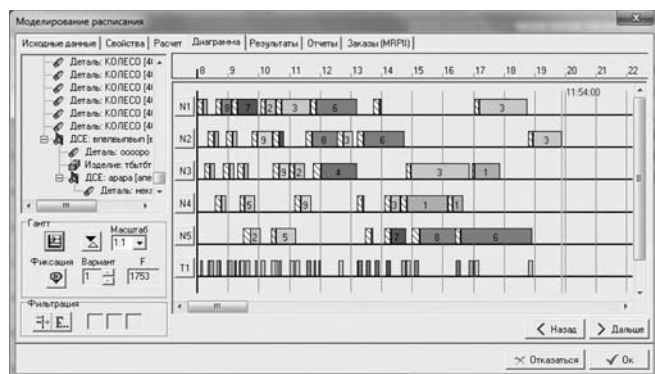


Рис. 2. Диаграмма Ганта, иллюстрирующая расписание

УДК 681.518.3

А.Н. Карелин, канд. техн. наук
(НПЦ «Энергосервис», г. Северодвинск),
В.А. Матигоров, Е.Н. Карелин
cascad344@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СУДОРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрены вопросы по практической работе и проектированию, внедрению и эксплуатации в электрических сетях системы городского водоснабжения «АСКУЭ — ц. 19» («предприятие — город») на базе комплекса технических средств (КТС) «Энергия+».

Опыт работы на крупных промышленных предприятиях, изложенный в статье, может быть полезен для муниципальных и промышленных предприятий, занимающихся проектированием и внедрением АСКУЭ.

Ключевые слова: электроснабжение; промышленное предприятие; режимы; управление; исследование; прогнозирование.

The issues on practical work and design, implementation and operation of the electrical network for city water supply system «ASMAMPС — ts. 19» («enterprise — city») on the basis of the technical means complex (TMC) «Energy+» are considered. The experience of working at large industrial enterprises, described in the article, can be useful for municipal and industrial enterprises involved in the design and implementation of ASMAMPС.

Keywords: power supply; industrial enterprise; modes; management; research; forecasting.

Введение. В современных условиях особое внимание в работе промышленных предприятий и электроэнергетических служб уделяется вопросам экономии электроэнергетических ресурсов и снижения энергетических затрат в себестоимости продукции, услуг и работ. В связи с этим мероприятия, направленные на экономию электрической энергии, должны обеспечивать значительный экономический эффект. Установка на промышленных предприятиях современных автоматизированных систем контроля, учёта и управления электропотреблением (АСКУЭ) является одним из эффективных средств экономии электрической энергии.

Вопросы экономии энергии до настоящего времени не являются определяющими в деятельности многих предприятий, а внедрённые автоматизированные системы контроля, коммерческого и (или) технического учёта и управления электроэнергией (АСКУЭ) не эксплуатируются.

Нередко энергосбытовые организации затрачивают огромные собственные средства на модернизацию систем и использование приборов контроля, учёта и управления, с повышенным классом точности, но данные мероприятия не дают должного эффекта из-за проблем с собираемостью от потребителей.

Для решения этих проблем необходима не только замена приборов учёта на более со-

вершенные, но и реализация автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ).

Автоматизированные системы коммерческого учёта. АСКУЭ могут применяться и для реализации проекта «умное предприятие», по аналогии с проектами «умный город» или «умное предприятие — город». Данные автоматизированные системы подразделяются на АСКУЭ и АСТУЭ (автоматизированные системы коммерческого и технического учёта) и реализуются совместно или отдельно. Экономическая эффективность от внедрения АСТУЭ может достигать 30 %.

Установленные или заменяемые приборы должны не только характеризоваться повышенной точностью, но и выполнять функции, позволяющие их использовать в составе АСКУЭ.

Реализация АСКУЭ также позволяет оперативно находить места хищения, самовольного подключения и несанкционированного использования электроэнергии.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов практически затруднено на тех предприятиях, где отсутствуют необходимые современные средства контроля и учёта энергоносителей. В частности, из-за примитивных методов и средств измерения расхода электроэнергии целесообразность проводимых организационных и технических

мероприятий по её экономии теряется или оказывается малоэффективной [1—8].

Очевидно, что учёт, передача, обработка и хранение информации о потреблении электроэнергии, составление отчётных документов, организация комплексов и процессов телекоммуникационных услуг предприятий связи в области энергетики, тарификации, генерации счетов абонентам, выбора параметров наиболее экономичных режимов работы системы электроснабжения без применения современных АСКУЭ требует от электроэнергетических служб предприятий больших непрямых затрат труда и рабочего времени.

Оптимальное управление (регулирование) потреблением электроэнергии без соответствующих систем затруднено из-за существенного запаздывания и недостаточности информации о потреблении в режиме реального времени [3].

Энергетики вынуждены принимать решения по регулированию нагрузки в условиях неполной информации, а запаздывание в принятии решений приводит, с одной стороны, к увеличению затрат, а с другой — к превышению норм расхода электроэнергии.

Любую систему электроснабжения промышленного предприятия необходимо рассматривать как динамическую, подвергающуюся внешним воздействиям. В то же время работа всей системы должна строго регламентироваться сменными, суточными, недельными, месячными и другими планами (нормами электропотребления, составленными на соответствующий период).

Нормирование электропотребления позволяет определить плановый расход электроэнергии на производство единицы продукции или объёма работы, обусловленный организацией и технологией процесса производства, уровнем применяемого технологического и энергетического оборудования.

Нормы расхода электроэнергии на предприятии и заявленная максимальная мощность являются непостоянными, они должны изменяться, отражая научно-технический прогресс в производстве, и обеспечивать наиболее эффективное и рациональное использование электроэнергии [2—8].

Одним из основных мероприятий по нормированию расхода электроэнергии также является организация постоянного контроля и учёта за фактическим расходом электроэнергии на производство [3].

В целом опыт проектирования, внедрения и эксплуатации АСКУЭ подтверждает их высокую экономическую эффективность, а также положительное влияние на производственную

деятельность промышленных предприятий. В зависимости от специфики отрасли, объёма производства и других показателей годовой экономической эффект от внедрения системы может достигать нескольких миллионов рублей [3—6].

Экономическая выгода энергосистемы реализуется за счёт сокращения неравномерности энергопотребления, снижается себестоимость вырабатываемой и потребляемой электроэнергии. Выгоды энергосистемы и потребителей очевидны. Для перехода на данную систему необходимы современные электронные системы.

Приборы и устройства системы позволяют обеспечить достаточно полный и точный контроль и учёт расхода электроэнергии в зависимости от схемы электроснабжения, особенностей технологического процесса, действующих тарифов и других факторов.

В данной статье изложены практические аспекты внедрения «АСКУЭ — ц. 19» на базе КТС «Энергия+», которые могут вызвать интерес со стороны энергетических служб небольших и крупных промышленных и муниципальных предприятий.

Венчурная сертифицированная подрядная внедренческая организация на основе КТС «Энергия+» реализовала автоматизированную систему контроля и управления «АСКУЭ — Звёздочка» крупного судоремонтного предприятия ГМП МП «Звёздочка».

Основные, разработанные автором проектные и технические решения внедрённой системы «АСКУЭ — Звёздочка» («предприятие — город»), были практически реализованы и освещались на конференциях.

Данные технические решения «предприятие — город» также были использованы при реализации автоматизированной системы «АСКУЭ — ц. 19» городского водоснабжения крупного судостроительного предприятия — Севмашпредприятие (рис. 1 и 2).

Система электроснабжения цеха № 19 Севмашпредприятия городского водоснабжения «предприятие — город» построена по принципу двухуровневой системы и состоит из четырёх территориально разделённых в городской и загородной черте систем электроснабжения (см. рис. 1 и 2) [3—5]:

- системы электроснабжения главной насосной станции НС «Солза» (I подъём);
- системы электроснабжения водоочистных сооружений ВОС-1;
- системы электроснабжения водоочистных сооружений ВОС-2;
- системы электроснабжения городских канализационных очистных сооружений КОС.

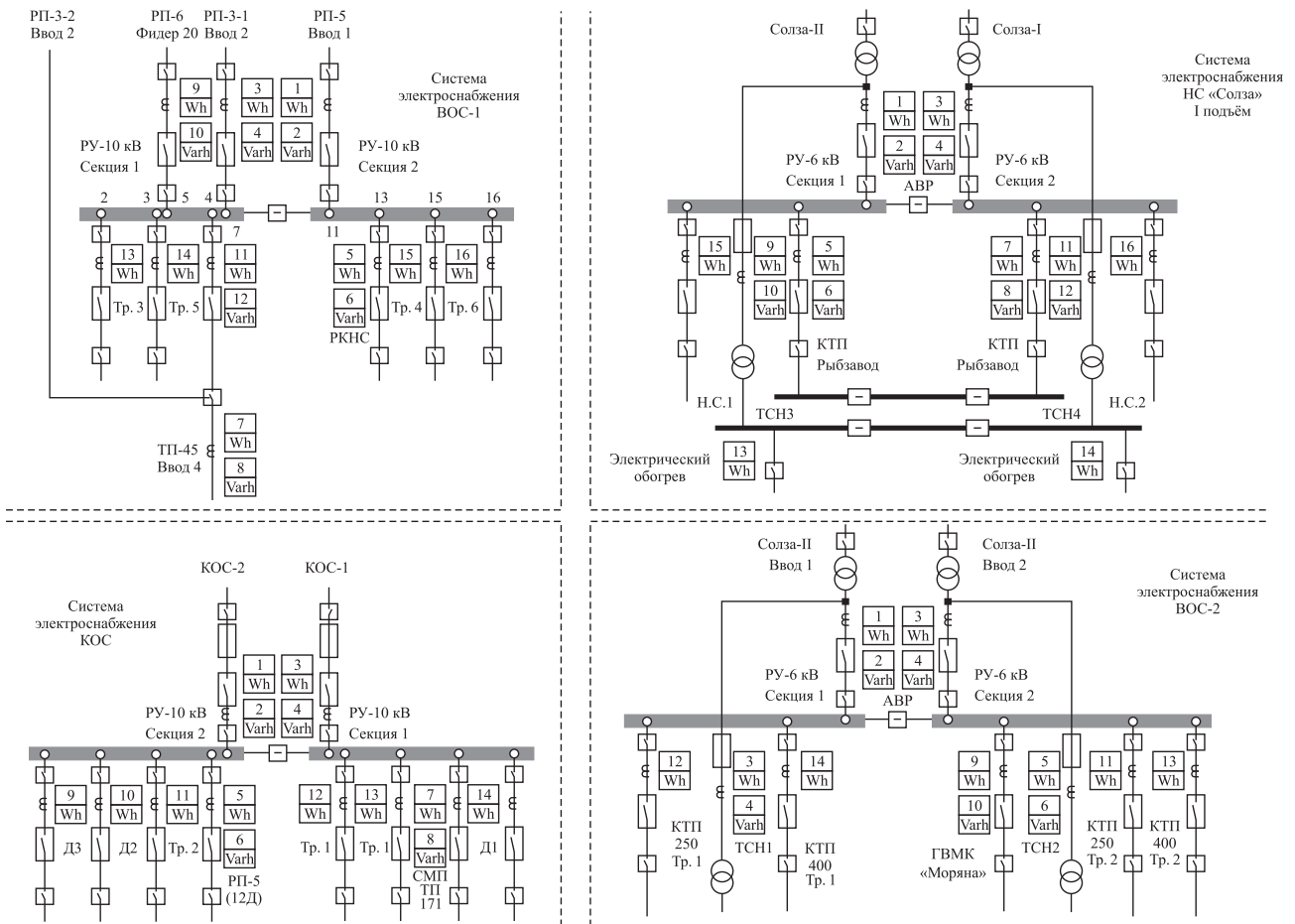


Рис. 1. Электрическая схема системы электроснабжения и учёта

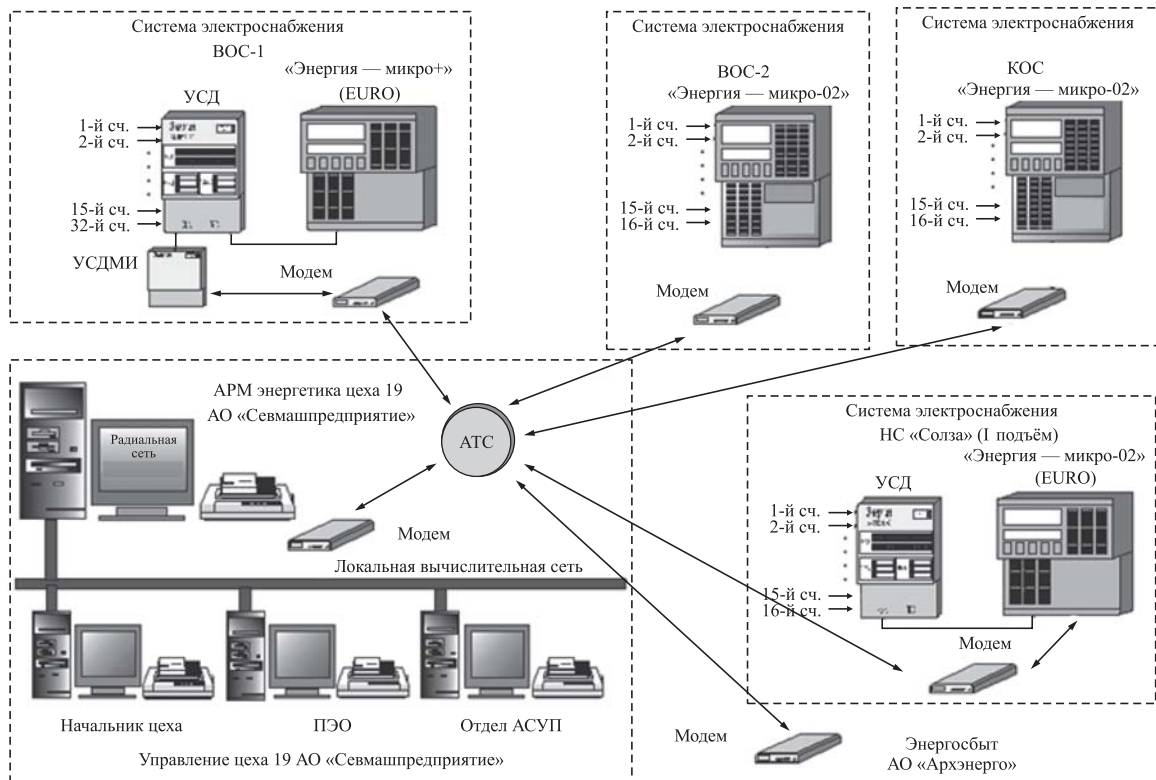


Рис. 2. Двухуровневая система контроля и управления (АСКУЭ)

Верхний уровень системы позволяет осуществлять оперативно-диспетчерский контроль и учёт электропотребления по цеху в целом.

Технически верхний уровень представлен автоматизированным рабочим местом энергетика цеха на базе персонального компьютера.

На режим электропотребления и формирование «мощности» в часы максимума нагрузки энергосистемы данных объектов оказывают влияние следующие факторы:

режим водопотребления двух электростанций города ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2;

подача воды на очистные сооружения ВОС-1 и ВОС-2;

режим водопотребления промышленных предприятий в рабочие дни;

режим бактерицидной очистки канализационных стоков города;

перекачка стоков (КНС города);

режим водопотребления жилых районов города в вечерние часы рабочей недели и выходные дни.

Первые пять факторов, влияющих на потребление мощности, можно прогнозировать, а последний — нет.

Дополнительное воздействие оказывают аварийные ситуации на трубопроводах подачи воды и переключение всей нагрузки подачи воды на одну ВОС [6].

Основные критерии эффективности работы «АСКУЭ — ц. 19»:

возможность обоснованно корректировать заявленный максимум нагрузки, получать объективную информацию об основных нагрузках, которая позволит оценить их при режимных ограничениях и выполнении лимитов на электропотребление;

получение современного инструмента для отслеживания режимов электропотребления в режиме реального времени;

повышение дисциплины управления режимами электропотребления и, как следствие, устойчивости работы всего энергохозяйства цеха;

снижение напряжённости работы службы энергетика, электротехнического персонала на объектах цеха, особенно в критических ситуациях.

Для прогнозирования и анализа энергопотребления необходимо эффективно и грамотно сформировать групповые параметры каналов системы учёта и контроля энергии.

КТС «Энергия+» обеспечивает автоматическое измерение активной и реактивной электроэнергии по интервалам времени 15 с, 30 мин, 60 мин, 1 сутки, 1 месяц.

1. Каналы учёта активной энергии (см. рис. 2):

Номер преобразователя и канала	Обозначение канала, вид учёта	Фидер, ячейка, потребитель
Канал учёта № 1.1	(k1.1), коммерческий учёт	Ввод № 1 к РП-5, яч. 11
Канал учёта № 1.3	(k1.3), коммерческий учёт	Ввод № 2 к РП-3-1, яч. 7
Канал учёта № 1.5	(k1.5), коммерческий учёт	РКНС, яч. 13
Канал учёта № 1.7	(k1.7), коммерческий учёт	Ввод № 4, яч. 4, к ТП-45
Канал учёта № 1.9	(k1.9), коммерческий учёт	РП-6 (Фидер 20, яч. 5)
Канал учёта № 1.11	(k1.11), технический учёт	РП-3-2, яч. 4
Канал учёта № 1.13	(k1.13), технический учёт	Яч.2, Тр. № 3
Канал учёта № 1.14	(k1.14), технический учёт	Яч.3, Тр. № 5
Канал учёта № 1.15	(k1.15), технический учёт	Яч.15, Тр. № 4
Канал учёта № 1.16	(k1.16), технический учёт	Яч.16, Тр. № 6

2. Каналы учёта реактивной энергии (см. рис. 2):

Номер преобразователя и канала	Обозначение канала, вид учёта	Фидер, ячейка, потребитель
Канал учёта № 1.2	(k1.2), коммерческий учёт	Ввод № 1 к РП-5, яч. 11
Канал учёта № 1.4	(k1.4), коммерческий учёт	Ввод № 2 к РП-3-1, яч. 7
Канал учёта № 1.6	(k1.6), коммерческий учёт	РКНС, яч. 13
Канал учёта № 1.8	(k1.8), коммерческий учёт	Ввод № 4, яч. 4, к ТП-45
Канал учёта № 1.10	(k1.10), коммерческий учёт	РП-6 (Фидер 20, яч. 5)
Канал учёта № 1.12	(k1.12), коммерческий учёт	РП-3-2, яч. 4

Созданы следующие группы учёта:

1) общего потребления активной электрической энергии и мощности ВОС-1;

2) общего потребления реактивной энергии и мощности ВОС-1;

3) потребления активной энергии и мощности на производство ВОС-1;

4) потребления реактивной энергии и мощности на производство ВОС-1;

5) потребления активной энергии и мощности районной канализационной насосной станции (РКНС);

6) потребления реактивной энергии и мощности РКНС;

7) потребления активной энергии и мощности от РП-5;

8) потребления реактивной энергии и мощности от РП-5.

Аналогичным образом осуществляется организация учёта на локальном (нижнем) уровне в системах электроснабжения ВОС-2, КОС и НС «Солза».

Организация учёта на верхнем уровне системы. Для организации учёта на верхнем уровне системы по цеху в целом, из каналов и групп учёта, установленных во всех четырёх преобразователях «Энергия-микро» на автоматизированном рабочем месте (АРМ) энергетика цеха формируются следующие группы коммерческого учёта верхнего уровня для ВОС-1:

1) расхода активной энергии и мощности по общему потреблению ВОС-1;

2) реактивной энергии и мощности по общему потреблению ВОС-1;

3) активной энергии и мощности на производство ВОС-1;

4) реактивной энергии и мощности на производство ВОС-1;

5) потребления активной энергии и мощности РКНС;

6) потребления реактивной энергии и мощности РКНС;

7) потребления активной энергии и мощности Тр. № 3;

8) потребления активной энергии и мощности Тр. № 5;

9) потребления активной энергии и мощности Тр. № 4;

10) потребления активной энергии и мощности Тр. № 6;

11) потребления активной энергии и мощности от ТП-45;

12) потребления реактивной энергии и мощности от ТП-45;

13) потребления активной энергии и мощности от РП-3-2;

14) потребления учёта реактивной энергии и мощности от РП-3-2;

15) учёта верхнего уровня — баланс по ВОС-1.

Аналогичным образом осуществляется организация учёта на верхнем уровне для систем электроснабжения ВОС-2, КОС и НС «Солза».

Технически верхний уровень «АСКУЭ — ц. 19» — базовое программное обеспечение (БПО) «Радиальная сеть КТС "Энергия+"».

Публикация данных БПО по WEB-технологии реализуется WEB-сервером — Microsoft Internet Information Server (IIS).

WEB-сервер и SQL-сервер используются для реализации управления и интегрирования АСКУЭ на базе КТС «Энергия+» в различные автоматизированные системы управления (АСУ) предприятием.

Организация учёта на нижнем уровне системы. Здесь сформированы следующие группы:

1) общего потребления активной электрической энергии и мощности ВОС-1;

2) общего потребления реактивной энергии и мощности ВОС-1;

3) потребления активной энергии и мощности на производство ВОС-1;

4) потребления реактивной энергии и мощности на производство ВОС-1;

5) потребления активной энергии и мощности РКНС;

6) потребления реактивной энергии и мощности РКНС;

7) потребления активной энергии и мощности от РП-5;

8) потребления реактивной энергии и мощности от РП-5.

Аналогичным образом осуществляется организация учёта на локальном (нижнем) уровне в системах электроснабжения ВОС-2, КОС и НС «Солза».

Технически нижний уровень «АСКУЭ — ц. 19» включает в себя группы счётчиков электроэнергии типа О1Т-2ТМ.02 и ПСЧ, устройства сбора данных (УСД) E443M2 (EURO), преобразователи «Энергия — микро+» (EURO), модули интерфейса (МИ) и модемы, установленные на подстанциях каждого объекта цеха.

Для организации коммерческого учёта на ячейках установлено по одному счётчику электрической энергии типа СЭТ-4ТМ.02, которые учитывают активную и реактивную электроэнергию, получаемую от этих подстанций. Для организации технического учёта на ячейках установлено по одному счётчику электрической энергии типа ПСЧ.

Счётчики должны иметь внутренний тарификатор (для использования в пределах одной квартиры, дачи, предприятия), жидкокристаллический дисплей, энергонезависимую память, встроенные календарь и часы, возможность работы в системе АСКУЭ, запрограммированный автоматический переход на зимнее/летнее время.

На жидкокристаллический дисплей выводятся следующие показания: текущие время и дата, потреблённая электроэнергия по текущему тарифу, потреблённая энергия по друго-

му установленному тарифу. О работе счётчика сигнализирует красный индикатор на панели.

Для коммерческого учёта установлены классы точности счётчика 0,2S, 0,5S, 1,0, трансформатор тока проверяется по пяти точкам от 1 до 120 % (1—5—20—100—120) от номинального тока. Обмотки классов точности 1, 0,5, 0,2 проверяются в четырёх точках: 5—20—100—120 % от номинального тока.

Данные о потреблении электрической энергии от счётчиков передаются по импульсным линиям связи, через устройство сбора и обработки данных УСД Е443М (EURO) в преобразователь верхнего уровня «Энергия — микро+» (EURO), фиксируются и выдаются на его цифровое табло каждые 3 мин.

Устройство сбора и передачи данных (УСПД) применяется для реализации интегрированной задачи коммерческого и технического учёта.

Для удешевления системы к УСПД можно подключать индукционные счётчики с импульсными выходами. УСПД необходимы для выхода на федеральный оптовый рынок электроэнергии и мощности (ФОРЭМ) и передачи информации о потреблении электроэнергии. УСПД передаёт данные со скоростью, обеспечивающей сниженные требования к используемым каналам передачи данных. УСПД применяется для подключения АСКУЭ к системе управления предприятием.

При проектировании в разделе «Технические данные» канала учёта обязательно указывается место установки счётчиков, их характеристики, потребитель, коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, передаточное число счётчиков. Все числовые данные заносятся в память преобразователя «Энергия — микро+» (EURO).

Экономическая эффективность «АСКУЭ — ц. 19» в системе водоснабжения города определяется как снижение оплаты за мощность, и электроэнергию путём обеспечения автоматизированного контроля и учёта реального фактического расхода электроэнергии и мощности.

Экономический эффект от внедрения «АСКУЭ — ц. 19» КТС «Энергия+» достигается за счёт применения дифференцированных тарифов на электрическую и тепловую энергию, наиболее точного учёта потребляемой электрической энергии и тепловой энергии, регулирования суточных графиков электрической и тепловой нагрузки, внедрения организационно-технических мероприятий.

Введение способа расчётов предприятия с энергосистемой за электрическую и тепловую

энергию по дифференцированным тарифам по зонам суток позволяет предприятию обоснованно планировать режим энергопотребления, стремиться уменьшить потребляемую энергию.

«АСКУЭ — ц. 19» позволяет измерять почасовые объёмы потребления электрической энергии.

Совместно с Архангельским ЦСМ была проведена метрологическая аттестация измерительных каналов «АСКУЭ — ц. 19», а затем система была введена в промышленную эксплуатацию как система коммерческого учёта.

Результаты анализа данных должны влиять на постоянную, своевременную корректировку значения мощности и соответствовать договорным отношениям между цехом и предприятием «Энергосбыт» ОАО «Архэнерго» — филиал ПАО «МРСК Северо-Запада» [9]. ОАО «Архэнерго» обеспечивает передачу и распределение электроэнергии на территории Архангельской области.

Опыт проектирования, внедрения и эксплуатации «АСКУЭ — ц. 19» показал, что для повышения эффективности использования системы необходимы постоянная оценка и анализ режимов работы системы электроснабжения цеха и привлечение к анализу не только энергетиков цеха, но и экономистов предприятия.

Краткосрочное прогнозирование потребления электрической энергии на основе информации АСКУЭ для АСПР (автоматизированной системы плановых расчётов) регионально-диспетчерского управления энергосистемы является важным научно-практическим направлением развития прогностических алгоритмов энергосбережения.

Алгоритмические методы должны характеризоваться экономичностью, робастностью, т. е. устойчивостью и адаптивностью, и вычислительной эффективностью. При разработке и применении алгоритмов и моделей необходимо учитывать особенности конкретной системы при прогнозировании электропотребления в энергосистемах. Необходимо адаптировать алгоритмы и модели к эффектам, связанным с прогнозированием потребления электрической энергии.

Основной параметр прогнозирования — объём производимой продукции, но наиболее эффективное и точное прогнозирование электропотребления цеха возможно на основе многофакторного анализа для определения нескольких значимых производственных параметров и дискретно-непрерывной модели электропотребления.

В настоящее время для реализации модели априорной оценки результатов применяются техника многослойного перцептрона (МП), са-

моорганизующиеся карты (СОК), метод опорных векторов (МОВ), квантизация векторов при обучении (КВО), линейные дискриминантные системы (ЛДС), нечёткие и нейро-нечёткие системы, комбинации различных подходов — гибридные системы. Для этого необходимо ознакомиться с существующими методами классификации данных, разработать алгоритм классификации данных, протестировать разработанный алгоритм, применить разработанный и протестированный алгоритм для анализа и классификации данных, полученных при диагностике состояния реальных объектов.

С помощью разработанного алгоритма можно разделить различные типы данных и использовать минимальный набор характеристик.

В процессе решения задачи целесообразно применять методы обучения через повторную активацию некоторых соединений для увеличения вероятности вывода нужного результата при входных сигналах и обратной связи.

Для анализа данных можно использовать многофакторный анализ, метод главных компонент и искусственные нейронные сети.

При этом используются следующие модели прогнозирования энергопотребления:

- линейная регрессия;
- нейронные сети (лучший результат 5,5...6,7 %);
- деревья решений (лучший результат 4,8...5,6 %).

Для прогнозирования и укрупнённых расчётов электропотребления цеха или предприятия в целом (без определения всех составляющих удельного расхода электроэнергии) можно применить метод моделей с ежегодной корректировкой электропотребления на основе результатов многофакторного нелинейного регрессионного анализа.

По сравнению с регрессионным анализом метод главных компонент более точный и имеет погрешность менее 3 %.

Для анализа можно использовать «умные сети» Smart Grid — программно-аппаратные комплексы, включающие в себя следующие подсистемы [10]:

- 1) интеллектуальные счётчики (Smart Metering);
- 2) динамическое управление системой электроснабжения (Dynamic Grid Management);
- 3) регулирование нагрузки (Demand Response).

Для анализа применяется единый формат данных .csv. Чтобы найти оптимальные значения решения и в целях минимизации ошибки предлагается применить метод градиентного спуска.

Градиентный спуск для каждого веса $w_{ij}^{(l)}$ и смещения $b_i^{(l)}$:

$$w_{ij}^{(l)} = w_{ij}^{(l)} - \alpha \frac{\partial}{\partial w_{ij}^{(l)}} J(w, b);$$

$$b_i^{(l)} = b_i^{(l)} - \alpha \frac{\partial}{\partial b_i^{(l)}} J(w, b).$$

Это выражение соответствует понятию градиентного спуска:

$$w_{\text{new}} = w_{\text{old}} - a \nabla \text{error},$$

где в левой части — новые значения, а в правой — старые.

Для расчёта весов на каждой итерации при функции оценки $J(w, b)$ используется метод итераций.

Двумерный градиентный спуск представлен на рис. 3.

Контуры — это области функции оценки с примерно одинаковыми значениями погрешности. Вектор показывает направление, в котором находится минимум.

Метод обратного распространения даёт возможность «делить» функцию оценки или ошибку со всеми весами в сети и определять влияние веса на погрешность.

Входные переменные сети при прогнозировании нагрузки определяются моделью с нелинейной функцией:

$$W_t = f(W_{t-n}, T_{t-n}, N_t) + \varepsilon_t,$$

где W_t — фактическое электропотребление энергосистемы в момент времени t ; t — текущее время; W_{t-n} — значения электропотребления предшествующих наблюдений; T_{t-n} — значения температуры окружающей среды предшествующих наблюдений; n — индекс ретроспективы данных; N_t — тип дня недели (рабочий, выходной, праздничный); ε_t — случайная составляющая, представляющая ненаблюдаемые факторы, влияющие на электропотребление.

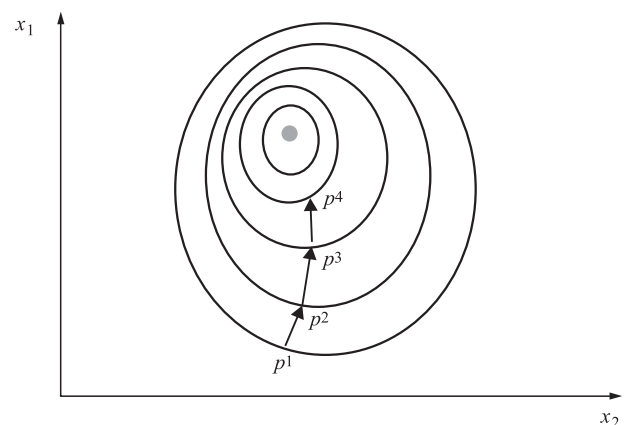


Рис. 3. Диаграмма двух итеративных двумерных градиентных спусков

Оценка точности прогноза на тестовом множестве размерностью K выполняется по среднему значению модулей относительных погрешностей:

$$\varepsilon_{\text{ср.пр}} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |\varepsilon_{\text{пр},i}|,$$

где $\varepsilon_{\text{пр},i}$ — относительная ошибка для i -й точки множества, %.

Для прогнозирования целесообразно применять обобщённо-регрессионную нейронную сеть (GRNN). Структура обобщённо-регрессионной нейронной сети (GRNN) аналогична вероятностной нейронной сети (PNN). Отличие GRNN состоит в том, что эта сеть предназначена для решения задач регрессии, а сеть PNN — для классификации. В этих сетях в точку расположения каждого обучающего наблюдения помещается гауссова ядерная функция оценки плотности распределения.

Под ядерной оценкой плотности понимается непараметрический способ оценки плотности случайной величины задачи сглаживания данных.

В области обработки сигналов и математической экономики метод называется «Окно Розенблатта — Парзена».

Пусть (x_1, x_2, \dots, x_n) — одномерная выборка независимых, одинаково распределённых величин параметров исследуемой электроэнергетической системы, извлечённых из некоторого распределения с неизвестной плотностью f .

Ядерный оценщик плотности формы функции f :

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right),$$

где K — ядро (неотрицательная функция); $h > 0$ — сглаживающий параметр (ширина полосы), выбирается минимальным; K_n — взвешенное ядро.

В непараметрической оценке плотности распределения в двухэтапной классификации признаков, распределение которых априори неизвестно или не согласовано с нормальным законом распределения, используют подход типа Розенблатта — Парзена:

$$\hat{p}(X|\omega_i) = \left(n_i \prod_{v=1}^P c_v^i \right)^{-1} \sum_{s=1}^{n_i} \prod_{v=1}^P \Phi\left(\frac{x_v - x_v^s}{c_v^i}\right), \quad i = 1, \dots, M,$$

где n_i — количество наблюдений в обучающей выборке V_i типа ω_i ; P — количество признаков каналов изображения; c_v^i — сглаживающие параметры выборки v типа ω_i ; $\Phi(u)$ — ядерная (гауссова) функция оценки плотности распределения [7—10].

Выводы. Разработана двухуровневая система энергоучёта и управления системой электропотребления «АСКУЭ — ц. 19» водоснабжения («предприятие — город») АО Севмаш-предприятие.

Основные требования, предъявляемые к учёту электроэнергии, регламентированы Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), и в соответствии с этим в проекте в каждой из четырёх систем электроснабжения цеха учёт разделён на две группы электросчётчиков: коммерческого и технического учёта.

Расчётный анализ режимов работы системы электроснабжения показал, что основными потребителями электроэнергии на насосных сооружениях являются мощные электродвигатели насосов, обеспечивающие подачу воды в город, а на канализационных очистных сооружениях — электрические паровые котлы.

Развитие информационной сети возможно за счёт подключения «АСКУЭ — ц. 19» к локальной сети подразделений предприятия.

Библиографические ссылки

1. Программное обеспечение комплекса технических средств «Энергия+» (ПО КТС «Энергия+») [99940], включённое в Реестр по приказу Минкомсвязи России от 15 мая 2017 г. № 234, Приложение 1, № 9, реестровый № 3537.

2. РД 34.09.101—94. Типовая инструкция по учёту электроэнергии при её производстве, передаче и распределении (утв. Минтопэнерго России 2 сентября 1994 г.) (ред. от 22 сентября 1998 г., с изм. от 13 ноября 2010). М.: СПО ОРГРЭС, 1995.

3. Карелин А.Н., Кузьков В.Н., Матигоров В.А. Автоматизированная система контроля и учёта энергоносителей на базе КТС «Энергия» // Промышленная энергетика. 2001. № 10.

4. Карелин А.Н. Адаптивная двухуровневая система учета и контроля // Патент России № 68816 U1. Заявка № 2006143145 от 5 декабря 2006 г. Бюлл. № 33. МПК H02P 9/30.

5. Карелин А.Н. Применение энергосберегающих технологий для повышения эффективности функционирования промышленного хозяйства // Вопросы технологии, эффективности производства и надежности. № 17. Северодвинск: РИО Севмашвтуза, 1999.

6. **Общепромышленные** руководящие методические материалы по созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). М.: Статистика, 1997.

7. Никифоров Г.В. Совершенствование нормирования и планирования электропотребления в промышленном производстве // Промышленная энергетика. 1999. № 3. С. 28—29.

8. Гунин В.М., Копцев Л.А., Никифоров Г.В. Опыт нормирования и прогнозирования электропотребления предприятия на основе математической

обработки статистической отчетности // Промышленная энергетика. 2000. № 2. С. 2—5.

9. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [Электронный ресурс] / Справочная правовая система «КонсультантПлюс». Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 26.04.2020).

10. **Smart Grid Strategies for a Global Marketplace** [Электронный ресурс] / Cisco. URL: http://newsroom.cisco.com/dlls/2009/ts_092409.html (дата обращения: 26.04.2020).

Ссылка для цитирования

Карелин А.Н., Матигоров В.А., Карелин Е.Н. Управление режимами электроснабжения судоремонтного предприятия // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 342—350.

УДК 622.276

Ф.Г. Агаев, д-р техн. наук, проф., **И.Х. Асадов**

(Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика)

asadzade@rambler.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОПУТНОГО ГАЗА В ФАКЕЛАХ

Рассмотрена разработанная методика оценки эффективности сжигания в факелах углеводородного газа. Проанализирован существующий метод оценки сжигания в факелах попутного газа. Предложен мультипликативный показатель эффективности факельного сжигания попутного газа. Установлено, что известный показатель эффективности сжигания в факелах по величине равен крутизне временной кривой предложенного показателя. Определён интегральный показатель эффективности в виде интеграла введённого показателя эффективности сжигания. Составлена и решена оптимизационная задача вычисления оптимальной функции временного изменения скорости ветра с учётом определённого интегрального ограничительного условия, наложенного на эту функцию.

Ключевые слова: эффективность сжигания; попутный газ; оптимизация; углеводородные газы; нагревательная способность.

The developed methodology for evaluating the popping efficiency of hydrocarbon gas in flares is considered. The existing method for popping evaluating of associated gas in flares is analyzed. A multiplicative indicator of the popping in efficiency of associated gas flares is proposed. It is established that the known indicator of the popping efficiency in flares is equal in magnitude to the steepness of the time curve of the proposed indicator. An integral indicator of efficiency in the form of an integral of the introduced indicator of popping efficiency is determined. The optimization task of calculating the optimal function of the temporal change in the wind speed, taking into account a certain integral limiting condition imposed on this function, is compiled and solved.

Keywords: popping efficiency; associated gas; optimization; hydrocarbon gases; heating capacity.

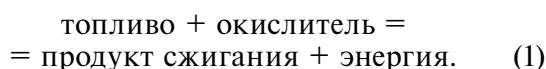
Введение. Как отмечается в работе [1], целью сжигания углеводородных газов в факелах является эффективное и надёжное потребление путём окисления и превращения в более выгодную массу для эмиссии, чем открытый их выпуск в атмосферу. Сжигание газа широко применяется в энергетических и нефтехимических производствах. Только в 1997 г. в США был сожжён углеводородный попутный газ в объёме 101,9 млрд м³ [1]. Согласно работе [2], при сжигании попутного углеводородного газа происходит эмиссия в атмосферу таких парниковых газов, как CO₂, CH₄, а также сажи, NO, NO₂, SO₂, представляющих опасность для здоровья людей. При этом объём

таких эмиссий в атмосферу при сжигании газа зависит от эффективности сгорания, которая в общем случае оценивается в процентах от количества углеводородного газа, которое преобразовано в CO₂ [2]. Количественно эффективность сгорания определяется в виде отношения массы углерода в CO₂, произведённого в результате сгорания газа, к массе углерода в исходном газе, поданном в факельное устройство. Другими словами, эффективность сгорания является мерой превращения массы углерода в исходном газе в CO₂. Считается, что эффективность сжигания на уровне 98 % можно считать достаточно хорошим показателем [2].

Неэффективность сгорания углеводородных газов, в основном, связана с воздействием ветров и нагревательной способностью топлива [3]. Также на это воздействуют такие факторы, как турбулентность воздуха, скорость потока газа, наличие водных капель в потоке газа и др. 95 % сжигаемого газа составляют природный газ, пропан, этилен, пропилен, бутadiен и бутан.

Как отмечается в работе [4], при сжигании одного килограмма углеводородного газа генерируются 50,1 г общих углеводородов, 1,25 г NO_x и 16,3 мг сажи N. При этом повышение эффективности сжигания газа позволяет существенно уменьшить указанные значения. Как показывают спутниковые данные наблюдения, в целом, в течение года во всём мире было сожжено 139 млрд м^3 газа, что составляет 4,6 % всего потребления природного газа в мире [5]. При этом некоторые усовершенствования технологии сжигания газа позволяют существенно уменьшить эмиссию продуктов сжигания в атмосферу.

В общем случае процесс сжигания газа может быть представлен в виде следующей символической реакции [6]:



При этом количество сгенерированной энергии выражается в нагревательной способности (HV). Средняя величина тепловой энергии, выделяемой при сжигании газа, определяется как

$$Q_{fel} = F_m 60 LHV \left[\frac{Btu}{hr} \right], \quad (2)$$

где F_m — объёмная скорость потока, фут⁻³/мин; LHV — нижнее значение нагревательной способности, определяемое по составу сжигаемого газа.

Существующий метод оценки сжигания попутного газа. Согласно работе [7], эффективность сгорания (сжигания) углеводородного попутного газа оценивается по следующей методике.

Исследуется процесс превращения сухой концентрации попутного газа во влажную субстанцию для учёта водяных паров, поступающих в пламя. Выходящие с пламени водяные пары в процентах объёма W определяются как

$$W(\%) = \frac{V(kPa)}{P(kPa)} \cdot \frac{H(\%)}{100}, \quad (3)$$

где V — давление водяного пара; P — барометрическое давление; H — влажность.

Давление водяного пара определяется по формуле

$$V(kPa) = \exp\left(16,262 - \frac{-3799,89}{t(C) + 226,36}\right), \quad (4)$$

где t — температура воздуха, °C.

Нижняя нагревательная способность CH_4 определяется по формуле

$$LHV_{\text{CH}_4} = 50,009 \left(\frac{MDK}{\text{кг}} \right). \quad (5)$$

Зная величину LHV_{CH_4} и фракции CH_4 в сжигаемом газе величина LHV этого газа LHV_g может быть вычислена по формуле

$$\begin{aligned} LHV_g = \\ = \frac{\frac{\text{CH}_4(\%)}{100} M_{\text{CH}_4} \left(\frac{\text{кг}}{\text{моль}} \right) LHV_{\text{CH}_4} \left(\frac{MDK}{\text{кг}} \right)}{M_g \left(\frac{\text{г}}{\text{моль}} \right)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где M_{CH_4} — молярная масса CH_4 ; M_g — молярная масса сжигаемого газа.

Для вычисления эффективности факельного сжигания газа применяется показатель x , определяемый по формуле, предложенной группой исследователей факельного сжигания углеводородного газа Университета Альберты (V_0A), США:

$$x = \frac{V_w \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)}{\left[V_g \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) g \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) D(\text{м}) \right]^{\frac{1}{3}}}, \quad (7)$$

где V_w — скорость ветра, м/с; V_g — скорость газа, подаваемого в факел, м/с; D — диаметр факела, м.

Эффективность факельного сжигания газа определяется по формуле

$$\begin{aligned} E_f = 1 - 0,00166[\exp(0,387x_1)] \times \\ \times \frac{LHV_{\text{CH}_4} \left(\frac{MDK}{\text{кг}} \right)}{LHV_{\text{ф}} \left(\frac{MDK}{\text{кг}} \right)}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $LHV_{\text{ф}}$ — нижняя нагревательная способность факела.

Таким образом, в указанной модели вычисления E_f используются как технологические, так и метеорологические параметры. К технологическим параметрам отнесём скорость поступающего в факел потока газа, диаметр факела, скорость струи и LHV . К

метеорологическим параметрам — атмосферное давление, скорость ветра, относительную влажность и температуру газа.

Задачу исследования сформулируем следующим образом. Необходимо определить интегрированную величину E_f за короткий промежуток времени ΔT , в течение которого изменяется только значение скорости ветра. Далее предложена методика вычисления этого показателя.

Методика оценки эффективности факельного сжигания газа. Предлагается мультипликативно-нелинейный метод оценки эффективности факельного сжигания углеводородного газа, на базе которого решена поставленная задача. Предлагаемый метод базируется на следующих положениях:

1. Показатель E_f является функцией времени, т. е.

$$E_f = E_f(T). \quad (9)$$

2. Рассматривается мультипликативно-нелинейный показатель η эффективности факельного сжигания углеводородного газа, определяемый в виде

$$\eta(T) = TE_f(T). \quad (10)$$

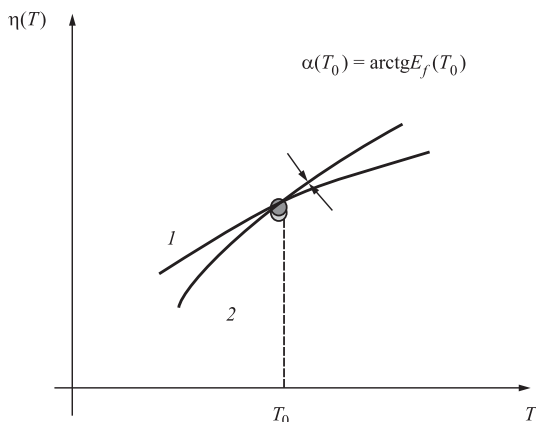
Как видно из выражения (10), $E_f(T)$ можно представить в виде мгновенной крутизны, так как если в определённый промежуток времени ΔT $E_f(T) = \text{const}$, то получим

$$\frac{d\eta(T)}{dT} = \text{const}. \quad (11)$$

Следовательно, выражение (10) можно переписать в виде

$$\eta(T) = T \text{tg} \alpha(T), \quad (12)$$

где $\alpha(T)$ — мгновенный угол крутизны функции $\eta(T)$.



Временной график изменения вновь введённого показателя $\eta(T)$, касательная к которому определяет угол α , вычисляемый по формуле (13):

1 — касательная прямая в точке T_0 ; 2 — кривая функции $\eta(T)$

С учётом выражений (10) и (12) получим

$$\alpha(T) = \text{arctg} E_f(T). \quad (13)$$

3. На основании выражений (12) и (13) можно построить временную диаграмму вновь введённого показателя $\eta(T)$, где $E_f(T)$ определяет касательную линию к кривой $\eta(T)$ в каждый временной момент (рисунок).

4. Рассмотрим интегральный показатель β эффективности сжигания углеводородного газа:

$$\beta = \int_0^{T_{\max}} TE_f(T) dT \quad (14)$$

или

$$\beta = \int_0^{T_{\max}} T \text{tg} \alpha(T) dT. \quad (15)$$

5. Может быть сформирована и решена задача параметрической оптимизации β , если E_f представить в виде

$$E_f = E_f[T, \alpha(T)]. \quad (16)$$

При этом необходимо найти оптимальную функцию $\alpha(T)$, при которой

$$\beta = \int_0^{T_{\max}} T \cdot E_f[T, \alpha T] dT \quad (17)$$

достиг бы экстремальной величины.

При решении указанной оптимизационной задачи возможно введение определённого ограничения на функцию $\alpha(T)$.

Рассмотрим в качестве модельного исследования возможность такой оптимизации, где в качестве параметра α используется такой метеорологический показатель, как скорость ветра.

Модельное исследование. В рассматриваемой модели предполагается, что все рассмотренные технологические и метеорологические факторы, влияющие на процесс сжигания газа (кроме скорости ветра), являются постоянными величинами в течение промежутка времени $(T_0 \dots T_0 + \Delta T)$.

Следовательно, с учётом выражений (7) и (8) запишем

$$E_f = 1 - a_1 \exp[a_2 V_w(T)], \quad (18)$$

где

$$a_1 = \frac{0,00166 LHV_{\text{CH}_4} \left(\frac{\text{MDK}}{\text{кг}} \right)}{LHV_{\Phi} \left(\frac{\text{MDK}}{\text{кг}} \right)}; \quad (19)$$

$$a_2 = \frac{0,387}{\left[V_g \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) g \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) D(\text{м}) \right]^{1/3}}. \quad (20)$$

С учётом выражений (17) и (18) целевой функционал оптимизации сформируем в виде

$$\beta = \int_0^{T_1} T \{1 - a_1 \exp[a_2 V_w(T)]\} dT. \quad (21)$$

На искомую функцию $V_w(T)$ наложим следующее интегральное ограничение:

$$\int_0^{T_1} V_w(T) dT = C; \quad C = \text{const}. \quad (22)$$

С учётом выражений (21) и (22) сформируем задачу безусловной вариационной оптимизации:

$$\beta_0 = \int_0^{T_1} T \{1 - a_1 \exp[a_2 V_w(T)]\} dT + \lambda \left[\int_0^{T_1} V_w(T) dT - C \right], \quad (23)$$

где λ — множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи (23) согласно работе [8] должно соответствовать условию

$$\frac{d\{T[1 - a_1 \exp[a_2 V_w(T)]] + \lambda[V_w(T) - C]\}}{dV_w(T)} = 0. \quad (24)$$

Из условия (24) имеем

$$-Ta_1 a_2 \exp[a_2 V_w(T)] + \lambda = 0. \quad (25)$$

Из выражения (25) получим

$$V_w(T) = \frac{1}{a_2} \ln \frac{\lambda}{Ta_1 a_2}. \quad (26)$$

С учётом выражений (22) и (26) имеем

$$\frac{1}{a_2} = \int_0^{T_1} \ln \frac{\lambda}{Ta_1 a_2} dT = C. \quad (27)$$

Из формулы (27) находим следующее выражение для вычисления λ :

$$\lambda = \exp \left[\frac{ca_1 + \int_0^{T_1} \ln \left(\frac{1}{Ta_1 a_2} \right) dT}{T_1} \right]. \quad (28)$$

Можно отметить, что при решении задачи (16) показатель β_0 достигает максимальной величины. Для этого достаточно взять производную (25) по $V_w(T)$ и убедиться, что знак этой производной является отрицательным. Таким образом, при условии (26) интеграл вновь введённого показателя эффективности сжигания газа достигает максимальной величины.

Заключение. Проанализирован метод оценки сжигания в факелах углеводородного попутного газа. Предложен мультипликативно-нелинейный показатель эффективности факельного сжигания углеводородного попутного газа. Показано, что существующий показатель эффективности по величине равен текущей крутизне временной кривой предложенного показателя. Также предложен интегрированный показатель эффективности, определяемый в виде интеграла вновь введённого показателя. Сформулирована и решена оптимизационная задача вычисления оптимальной функции временного изменения скорости ветра при условии наложения на эту функцию определённого интегрального ограничения, обеспечивающего максимум вновь введённого интегрального показателя.

Библиографические ссылки

1. Spangelo J.L. A characterization of solution gas flaring in Alberta // J. Air & Waste manage. Assoc. Vol. 51. P. 1167—1177.
2. Ismail O.S., Umukoro G.E. Modelling combustion reactions for gas flaring and its resulting emissions // Journal of King Saud University — Engineering Sciences. Режим доступа: www.sciencedirect.com. www.ksu.edu.sa (дата обращения: 30.10.2020).
3. Ismail O.S., Umukoro G.E. Global impact of gas flaring // Energy and Power Engineering. 2012. Vol. 4. P. 290—302. DOI: 10.4236/epe.2012.44039. Режим доступа: <http://www.SciRP.org/journal/epe> (дата обращения: 30.10.2020).
4. Ahsan A., Ahsan H., Ofert J.S., Kostiuk L.W. Quantifying the carbon conversion efficiency and emission indices of a lab-scale natural gas flare with internal coflows air or steam // Experimental Thermal and Fluid Science. Режим доступа: www.elsevier.com/locate/etfs (дата обращения: 30.10.2020).
5. Hajilary N., Rezakazemi M., Shahi A. CO₂ emission reduction by zero flaring startup in gas refinery // Materias Science for Energy Technologies. 2020. Vol. 3. P. 218—224. Режим доступа: www.keaipublishing.com/en/journals/materials-science-forenergy-technologies (дата обращения: 30.10.2020).
6. Nwanya S.C. Climate change and energy implications of gas flaring for Nigeria // International Journal of Low-Carbon Technologies. 2011. Vol. 6. Iss. 3. P. 193—199.
7. Willis J., Checkel D., Handford D., Shah A., Joiner M. Flare efficiency estimator and case studies / Water Environment Research Foundation. URL: <http://greenbank.nv.gov/-/media/Files/EERP/Commercial/Sector/Municipal-Water-Wastewater-Facilities/flare-efficiency-estimator.pdf> (дата обращения: 30.10.2020).
8. Эльцголл Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

Ссылка для цитирования

Агаев Ф.Г., Асадов И.Х. Методика оценки эффективности сжигания углеводородного попутного газа в факелах // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 350—353.

УДК 621.313.13

И.Ф. Янгиров, д-р техн. наук, **А.Р. Халиков**, канд. физ.-мат. наук
(Уфимский государственный авиационный технический университет)

yangirov@yandex.ru

ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДЕФЕКТОСКОП

Рассмотрена конструкция линейного асинхронного дефектоскопа (ЛАД), построенного на базе асинхронного двигателя с трёхфазной обмоткой, на пазе которого также встроена сигнальная обмотка. ЛАД реагирует на наличие в изделии как продольных, так и поперечных трещин. Создана его математическая модель, которая позволяет спроектировать ЛАД с необходимой чувствительностью и геометрическими размерами.

Ключевые слова: дефектоскоп; асинхронный двигатель; трёхфазная и сигнальная обмотки; продольные и поперечные дефекты.

The design of a linear asynchronous flaw detector (LAFD), built on the basis of an asynchronous motor with a three-phase winding, on the groove of which a signal winding is also built-in, is considered. LAFD reacts to the presence of both longitudinal and transverse cracks in the product. Its mathematical model which makes it possible to design a LAFD with the required sensitivity and geometric dimensions is created.

Keywords: flaw detector; asynchronous motor; three-phase and signal winding; longitudinal and transverse defects.

Введение. В статье представлена разработанная математическая модель электромагнитного анализатора (дефектоскопа) качества изготовления металлических труб, обладающего повышенной избирательностью и разрешающей способностью к технологическим дефектам контролируемого изделия (например, нефте- и газопроводы, сварные швы) [1]. Работа линейного асинхронного дефектоскопа (ЛАД) основана на том, что при появлении на внутренней и внешней поверхностях изделия продольных и поперечных дефектов изменяется сопротивление магнитному потоку. В результате данного эффекта при движении ЛАД внутри изделия на измерительной обмотке появляется сигнал, определяющий местонахождение и параметры дефектов. Технические возможности указанного дефектоскопа позволяют исследовать обнаруженные дефекты при следующих метрологических параметрах: погрешность измерения толщины стенки трубы 0,4 мм, минимальная протяжённость дефекта типа «трещина» вдоль оси трубы 40 мм, минимальная протяжённость дефекта типа «поперечная трещина» 1/6 окружности.

Сравнение предлагаемого дефектоскопа с применяемыми на практике (например, малогабаритный портативный электромагнит МЭД-120 или дефектоскоп УИУ «Сканер+» (модель «Скаруч»), электромагнитный дефектоскоп-толщиномер ЭМДС-С) показывает преимущества предлагаемой модели по таким параметрам, как универсальность, экономичность,

удобство в эксплуатации и при этом не уступает уже апробированным в промышленности дефектоскопам по техническим характеристикам.

Таким образом, рассматриваемый ЛАД может найти применение в дефектоскопии нефтегазопроводов в процессе контроля наличия и локализации продольных и поперечных трещин на заданных участках.

Решение задачи. Целью работы является анализ и математическое моделирование процессов работы ЛАД и влияния параметров его элементов на основные эксплуатационные характеристики.

Несмотря на широкое применение датчиков, работа которых основана на данном принципе, процессы их работы изучены недостаточно и отсутствуют достоверные практические рекомендации по оптимизации их характеристик, что ограничивает в некоторых случаях функциональные возможности применения данных устройств [1].

Упрощённое конструктивное расположение элементов ЛАД приведено на рис. 1.

Линейный асинхронный спиральный дефектоскоп (ЛАД) содержит статор 1 с трёхфазной обмоткой 2. В указанный статор 1 также встроены обмотки 3 со встречно-последовательным включением. Дефектоскоп располагается под нефтегазопроводом 4, который может иметь трещины или дефекты иного характера. При прохождении ЛАД под дефектным участком изделия меняется магнитная индукция

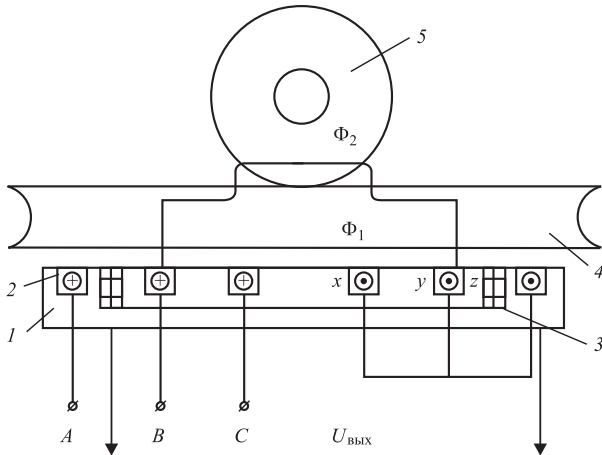


Рис. 1. Упрощённое конструктивное расположение элементов ЛАД

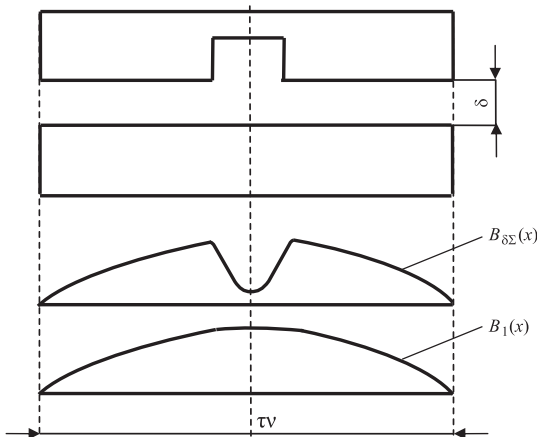


Рис. 2. Расчётная модель датчика

бегущего магнитного поля [2] обмотки 2 (магнитное сопротивление) и ЛАД фиксирует наличие брака.

При решении и анализе применены метод Фурье и теория магнитного поля [3], использованы общепринятые допущения [1, 3], которые не искажают картину явления, поскольку могут быть скорректированы соответствующими коэффициентами [1].

Расчётная модель датчика, позволяющая исследовать ЛАД в работе, приведена на рис. 2.

Уравнение бегущего магнитного поля [1] для линейного асинхронного спирального дефектоскопа с трёхфазной обмоткой, имеет вид

$$F_v(x) = F_{vm} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right), \quad (1)$$

где $F_v(x)$ — МДС линейного поля; τ_1 — полюсное деление; v — порядок высшей гармоники поля [1].

Проводимость полюса обмотки рассчитывается по формуле

$$G_{\delta\Sigma}(X) = G_{\delta 0} + \sum_1^{\infty} G_{vm} \cos\left(\frac{\pi x}{\tau_1} v\right). \quad (2)$$

Индукция магнитного поля в воздушном зазоре

$$B_{\delta\Sigma}(X) = F_v(X) G_{\delta\Sigma}(X) = F_{vm} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) \left[G_{\delta 0} + \sum_1^{\infty} G_{vm} \cos\left(\frac{\pi x}{\tau_1} v\right) \right] \quad (3)$$

или

$$B_{\delta\Sigma}(X) = B_{\delta m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) + F_{vm} \sum_1^{\infty} G_{vm} \left(\cos\left(\frac{\pi x}{\tau_1} v\right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) \right). \quad (4)$$

Магнитная индукция для основной гармоники после тригонометрических преобразований формулы (4) примет вид

$$B_{\delta\Sigma}(X) = B_{\delta m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) + \frac{1}{2} B_{vm} \sin \omega t + \frac{1}{2} B_{vm} \sin\left(\omega t - 2 \frac{\pi x}{\tau_1} v\right), \quad (5)$$

ЭДС [1], наводимая в обмотках,

$$e = 4,44 \frac{pn}{60} W_c B_{\delta\Sigma}(x) S, \quad (6)$$

где P — число пар полюсов; n — число прорезей полюса; W_c — число витков сигнальной обмотки; S — величина перемещения ЛАД.

После подстановки формулы (6) в выражение (5) может быть определено мгновенное значение ЭДС:

$$E = 4,44 \frac{Pn}{60} W_c \left[B_{\delta m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) + \sum_1^{\infty} \left(\frac{1}{2} B_{vm} \sin \omega t + \frac{1}{2} B_{vm} \sin\left(\omega t - 2 \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) \right) \right] S. \quad (7)$$

Учитывая, что перемещение ЛАД относительно контролируемого изделия $S = \omega RT$, где ω — частота вращения магнитного поля; R — радиус изделия (например, нефтегазопровода); T — период вращения магнитного поля, окончательное выражение для сигнальной ЭДС примет вид

$$E = 4,44 \frac{Pn}{60} W_c \left[B_{\delta m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) + \frac{1}{2} \sum_1^{\infty} \left(B_{vm} \sin \omega t + B_{vm} \sin\left(\omega t - 2 \frac{\pi x}{\tau_1} v\right) \right) \right] \omega RT. \quad (8)$$

Действующее значение ЭДС дефектоскопа на основной гармонике

$$E = 4,44 \frac{Pn}{60} W_c B_{\delta m} \omega R. \quad (9)$$

Чувствительность ЛАД

$$\beta = 4,44 \frac{dE}{dT} = 4,44 W_c B_{\delta m} \omega R. \quad (10)$$

Для практического применения результатов исследования целесообразно перевести аналитические выражения в относительные единицы (о. е.), принимая за базовую величину

$$\begin{aligned} \beta_{\text{баз}} &= 4,44 W_c B_{\delta m} \omega R, \\ \beta^* &= \beta_{\text{баз}} \omega. \end{aligned} \quad (11)$$

На рис. 3 показана теоретическая выходная характеристика ЛАД $\beta^* = f(\omega)$.

Формула результирующей индукции магнитного поля в зазоре с учётом высших гармоник $\nu = 2, 3$ имеет вид

$$\begin{aligned} B_{\delta \Sigma}(x) &= B_{\delta m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} \nu\right) + \\ &+ F_{\nu m} \sum_1^{\infty} G_{\nu m} \cos\left(\frac{\pi x}{\tau_1} \nu\right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} \nu\right) \end{aligned} \quad (12)$$

и, соответственно, наводящаяся ЭДС

$$\begin{aligned} e &= 4,44 \frac{Pn}{60} W_c \left[B_{\delta m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} \nu\right) + \right. \\ &\left. + \sum_{\nu=2}^{\infty} B_{\nu m} \cos\left(\frac{\pi x}{\tau_1} \nu\right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau_1} \nu\right) \right] \omega R. \end{aligned} \quad (13)$$

Для анализа результатов решения рассмотрен частный случай, наиболее часто применяемый на практике, когда $\nu = 2$ и $x = \tau_1$.

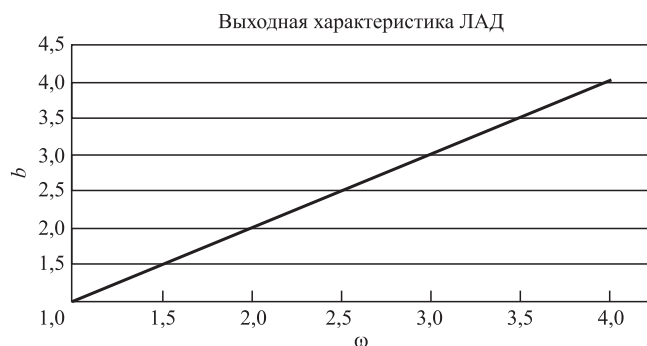


Рис. 3. Теоретическая выходная характеристика ЛАД

Тогда с учётом тригонометрических преобразований ЭДС сигнала ЛАД примет вид

$$e = 4,44 \frac{Pn}{60} W_c [B_{\delta m} \sin(\omega t) + B_{2m} \sin(\omega t)] \omega R, \quad (14)$$

действующий сигнал —

$$E = 8,88 \frac{Pn}{60} W_c B_{\delta m} \omega R, \quad (15)$$

чувствительность —

$$\beta = 8,88 \frac{Pn}{60} W_c B_{\delta m} \omega. \quad (16)$$

Результаты, полученные в процессе математического моделирования, показывают эффективность разработанной конструкции ЛАД, и также могут быть использованы и для анализа работы других типов дефектоскопов.

Таким образом, как показывают проведённые исследования, предложенная конструкция ЛАД позволяет улучшить метрологические характеристики контроля дефектов, а полученные в работе результаты могут быть использованы и при анализе других типов дефектоскопов.

Выводы. Разработана оригинальная конструкция ЛАД на базе линейного асинхронного двигателя. Создана математическая модель ЛАД, получены выражения для определения его чувствительности в зависимости от геометрических размеров и магнитных характеристик. Технико-экономические характеристики ЛАД актуализируют его внедрение в промышленной эксплуатации. Секционное расположение ЛАД вдоль контролируемого изделия позволяет определить наличие и с высокой точностью локализовать дефекты изделия, что, в свою очередь, путём осуществления превентивных мер даёт возможность предотвратить аварийные явления, например, утечки нефти и газа.

Библиографические ссылки

1. **Сергеев Б.С.** Анализ работы путевого датчика ДПЭП // Электротехника. 2000. № 7. С. 41—46.
2. **Вольдек А.И.** Электрические машины. Л.: Энергия, 1974. 830 с.
3. **Янгиров И.Ф.** Сотовый преобразователь линейных ускорений // Технология машиностроения. 2004. № 9. С. 59—61.

Ссылка для цитирования

Янгиров И.Ф., Халиков А.Р. Линейный асинхронный дефектоскоп // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 354—356.

УДК 621.373.5

DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-8-357-363

А.А. Дюкин, А.С. Микаева, канд. экон. наук, **С.А. Микаева**, д-р техн. наук, проф.
(МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва)

mikaeva@npo.lit

МЕДИЦИНСКИЙ РЕЦИРКУЛЯТОР

Описан медицинский рециркулятор, предназначенный для обеззараживания воздуха помещений всех категорий в присутствии и отсутствии людей. Представлены кривая бактерицидного действия ультрафиолетового излучения и технические характеристики рециркулятора. Потенциальный потребитель рециркулятора — младший сестринский персонал лечебно-профилактических, дошкольных, школьных, производственных, общественных и иных организаций.

Ключевые слова: медицинский рециркулятор; ультрафиолетовое излучение; бактерицидная лампа.

A medical recirculator is suitable for disinfect the air in rooms of all categories in the presence and absence of people is described. The curve of the ultraviolet radiation bactericidal action and the technical characteristics of the recirculator are presented. The potential consumer of the recirculator is the junior nursing staff of medical and prophylactic, preschool, school, industrial, public and other organizations.

Keywords: medical recirculator; ultraviolet radiation; bactericidal lamp.

В связи с эпидемией коронавируса COVID-19 приобрели особую актуальность создание и производство новых приборов для обеззараживания воздуха во всех категориях помещений в присутствии и в отсутствие людей. Представленный в статье медицинский рециркулятор предназначен для обеззараживания воздуха помещений всех категорий согласно Руководству Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях» (Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004 г.): в присутствии людей в помещениях для предотвращения повышения уровня микробной обсеменённости воздуха (особенно в случаях высокой степени риска распространения заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём); в отсутствие людей в помещениях для снижения микробной обсеменённости воздуха (в качестве заключительного звена в комплексе санитарно-гигиенических мероприятий).

Рециркулятор спроектирован в соответствии с требованиями Р 3.5.1904-04. Он укомплектован безозоновыми амальгамными газоразрядными бактерицидными лампами низкого давления FOTOTRON, изготовленными в ООО Торговый дом «Лаборатория импульсной техники», г. Москва [1—8]. Ртуть внутри лампы находится в связанном состоянии, поэтому при бое лампы не требуется проводить меры по демеркуризации помещения [1—3, 5].

Рециркуляция воздуха осуществляется с помощью вентилятора. Воздух из помещения поступает внутрь рециркулятора снизу, проходит через фильтрующие элементы, поступает в зону облучения, где обеззараживается, затем возвращается в помещение.

Рециркулятор может применяться в лечебно-профилактических, дошкольных, школьных, производственных и общественных организациях и других помещениях в целях снижения количества содержащихся в воздухе микроорганизмов и профилактики инфекционных заболеваний.

Температура воздуха при эксплуатации должна лежать в диапазоне от +4 до +35 °С. Использование рециркулятора при более высокой температуре воздуха должно быть согласовано с предприятием-изготовителем. Климатическое исполнение рециркулятора — УХЛ, категория размещения — 4.2 по ГОСТ 15150—69.

УФ-излучение, воздействующее на живые микроорганизмы, имеет оптимальный для их инактивации диапазон длин волн: от 250 до 280 нм. Кривая указанного бактерицидного воздействия излучения на микроорганизмы приведена на рис. 1.

Обеззараживание воздуха в рециркуляторе происходит за счёт воздействия на микроорганизмы бактерицидного УФ-излучения с длиной волны 254 нм. Инактивация микроорганизмов происходит за счёт сообщения им достаточной для этого дозы УФ-облучения [5, 6].

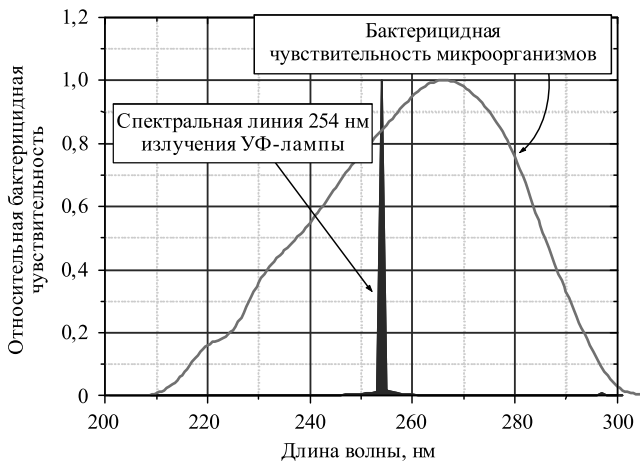


Рис. 1. Кривая бактерицидного действия УФ-излучения

Доза облучения D , или количество энергии, сообщаемое микроорганизмам, является главной характеристикой рециркулятора УФ-обеззараживания. Она равна произведению средней интенсивности УФ-облучения $\langle I \rangle$ на среднее время нахождения микроорганизмов под облучением $\langle t \rangle$:

$$D = \langle I \rangle \langle t \rangle.$$

Экспериментально установленные значения летальных доз УФ-облучения для микроорганизмов различных видов приведены в Руководстве Р 3.5.1904-04.

Технические характеристики рециркулятора

Напряжение питания, В $220 \pm 10 \%$
 Частота питающего напряжения, Гц 50
 Потребляемая мощность, Вт Не более 565
 Род тока Однофазный
 Число ламп 1
 Число электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) 1
 Число вентиляторов 1
 Число воздушных фильтров G4 6
 Число воздушных фильтров F5 6
 Габариты:
 высота \times ширина \times глубина, мм $1378 \times 890 \times 581$
 Масса, кг Не более 90
 Материал корпуса:
 АЭРОЛИТ 500S Коррозионно-стойкая сталь AISI
 АЭРОЛИТ 500 Крашеная сталь
 Степень пыле- и влагозащищённости IP20
 Панель оператора ЖК-дисплей
 Отключение по перегреву Есть
 Контроль времени наработки Есть
 Сетевой кабель с вилкой Есть
 Длина сетевого кабеля, м 6

Основное электрооборудование

Лампа (безозоновое исполнение) FOTOTRON 368, 3 шт.
 Номинальный ресурс работы лампы, ч 12 000
 Число включений/выключений лампы 5000
 Время выхода УФ-лампы на режим, мин 2
 Материал колбы лампы Безозоновое кварцевое стекло
 Тип вентилятора Центробежный
 Мощность вентилятора, Вт Не более 65
 Тип ЭПРА ЭПРА Л~220-1 \times 600-2222-161
 Класс оборудования по способу защиты от поражения электрическим током I
 Корректированный уровень звуковой мощности, дБА Не более 50

Условия эксплуатации

Расположение В помещениях (indoor)
 Тип помещений Закрытые отапливаемые и вентилируемые
 Относительная влажность при температуре +25 °С, % 80
 Температура окружающего воздуха, °С +4...+35

Режимы работы установки приведены в табл. 1. Режим работы установки выбирается в зависимости от объёма помещения и требуемого времени его обработки.

При работе по различным видам микроорганизмов (КМАФАнМ/ОМЧ, *S. aureus*, *E. coli*, *C. difficile*, *Enterobacter sp.*, *M. tuberculosis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, вирус гриппа) бактерицидная эффективность рециркулятора $J_{\text{БК}}$ составляет 99,9 %.

Комплект поставки рециркулятора

Передвижной рециркулятор:
 АЭРОЛИТ 500 1
 АЭРОЛИТ 500S 1
 Упаковка 1
 Ключ от корпуса 1

Запасные части

Воздушный фильтр G4 6
 Воздушный фильтр F5 6

Таблица 1

Режимы работы рециркулятора

Режим	Производительность, м ³ /ч	Корректированный уровень звуковой мощности, дБА	Число включенных ламп	Потребляемая мощность, Вт
1	$250 \pm 10 \%$	32	1	523
2	$375 \pm 10 \%$	40	1	552
3	$500 \pm 10 \%$	49	1	565

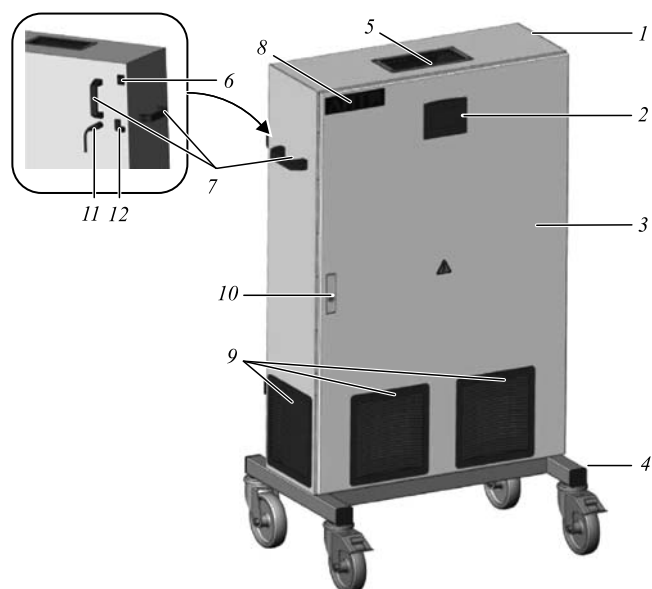


Рис. 2. Общий вид рециркулятора:

1 — корпус; 2 — панель оператора; 3 — дверь; 4 — подставка с колёсными опорами; 5 — окно выброса обеззараженного воздуха; 6 — главный выключатель; 7 — ручка; 8 — логотип; 9 — вентиляционная решётка; 10 — замок; 11 — сетевой шнур с вилкой УЗО; 12 — держатель сетевого шнура

Рециркулятор (рис. 2) представляет собой корпус 1, смонтированный на передвижной подставке 4 с колёсными опорами, две из которых имеют тормоз. Диаметр колёс — 100 мм. Корпус рециркулятора оснащён дверью 3 на петлях и замком 10, препятствующим несанк-

ционированному проникновению внутрь рециркулятора. Для удобства манипуляций на корпусе установлены ручки 7.

На двери корпуса расположена сенсорная панель оператора 2. На задней стенке находится главный выключатель 6. На верхней стенке корпуса расположено окно выброса обеззараженного воздуха 5, защищённое стальной вентиляционной решёткой. Рециркулятор имеет сетевой шнур 11 длиной 6 м с вилкой УЗО (устройство защитного отключения). На задней стенке рециркулятора расположены специальные держатели 12 для хранения сетевого шнура. На корпусе рециркулятора расположены окна забора воздуха с установленными в них пластиковыми вентиляционными решётками 9. Каждая решётка снабжена воздушными фильтрами классов очистки G4 и F5. Замена воздушных фильтров осуществляется снаружи рециркулятора, без открытия двери.

Расположение элементов внутри рециркулятора показано на рис. 3. В его нижней части расположена монтажная панель с электрооборудованием, а оставшийся объём корпуса рециркулятора занимает короб со съёмными крышками. Центральная часть короба играет роль зоны облучения, стенки короба оснащены светоотражателями. Здесь также установлена УФ-лампа 4. Верхняя часть короба служит вентиляционной камерой 6, здесь же установлен вентилятор 1. Для удобства обслуживания крышка зоны облучения 11 фиксируется защёлками 12 и является быстросъёмной. Зона облучения 7 и вентиляционная камера 6 разделены световой решёткой 2, снижающей выход УФ-излучения из зоны облучения. Такая же решётка стоит в нижней части зоны облучения. Подключение УФ-лампы осуществляется с помощью разъёмов.

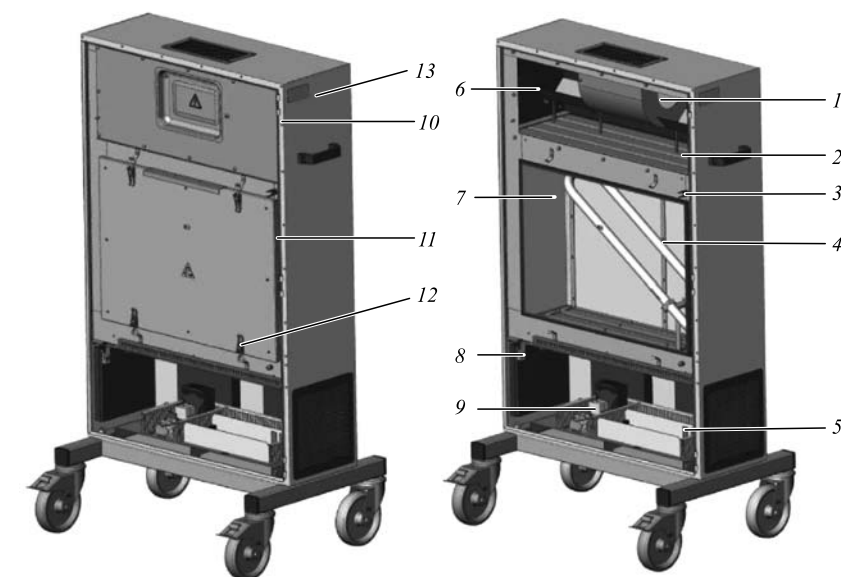


Рис. 3. Расположение элементов внутри рециркулятора:

1 — вентилятор; 2 — световая решётка; 3 — термостат; 4 — УФ-лампа; 5 — ЭПРА; 6 — вентиляционная камера; 7 — зона облучения; 8 — концевой микропереключатель; 9 — автоматический выключатель; 10 — крышка вентиляционной камеры; 11 — крышка зоны облучения; 12 — защёлка; 13 — шильдик

Особенностями рециркулятора являются мобильность, простота и удобство замены фильтров (без открывания корпуса рециркулятора), удобство подключения рециркулятора к электросети (шестиметровый кабель с вилкой УЗО), наличие защитной функции — отключения питания рециркулятора при открытии двери, возможность экстренного отключения рециркулятора.

Рециркулятор может работать в трёх режимах (см. табл. 1). Выбор режима осуществляется вручную, на экране панели оператора.

К функциям панели оператора относятся: сигнализация о неисправности УФ-лампы; индикация времени наработки и числа включений УФ-лампы;

сигнализация о превышении времени наработки УФ-лампы;

сигнализация о перегреве;

представление информации о текущем состоянии рециркулятора;

предоставление возможности для просмотра истории сообщений.

В процессе работы рециркулятора на экране панели оператора отображается информация о состоянии рециркулятора. Для визуализации определённой страницы необходимо нажать соответствующую кнопку на дисплее.

Причиной сигнала «Предупреждение» является наработка лампы $\geq 11\ 000$ ч.

Причины сигнала «Авария»: неисправный вентилятор, перегрев зоны облучения, открытие двери, наработка лампы $\geq 12\ 000$ ч, неисправная лампа.

Причинами автоматического аварийного отключения являются неисправная лампа; неисправный вентилятор, открытая дверь, наработка лампы $\geq 12\ 000$ ч.

При переключении режимов работы рециркулятора доступен любой режим, если наработка лампы $\leq 12\ 000$ ч.

Рециркулятор невозможно включить, если активно одно из следующих сообщений: «Авария! Лампа неисправна!»; «Авария! Перегрев, лампа исчерпала свой ресурс!»; «Авария! Перегрев!»; «Авария! Открыта дверь!»; «Нарработка лампы $\geq 12\ 000$ ч».

При использовании рециркулятора требуется применение специальных мер для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Он должен быть установлен и введён в эксплуатацию в соответствии с информацией [7, 8], относящейся к ЭМС, представленной в табл. 2.

Применение мобильных радиочастотных средств связи может оказывать воздействие на рециркулятор.

Использование кабелей, не указанных в перечне, за исключением кабелей, поставляемых изготовителем рециркулятора, может привести к увеличению электромагнитной эмиссии или снижению помехоустойчивости рециркулятора [7, 8], представленных в табл. 3.

Рециркулятор не следует применять в непосредственной близости или во взаимосвязи с другим оборудованием. Если такое их применение является необходимым, должна быть проведена верификация нормального функционирования рециркулятора в данной конфигурации.

Напряжённость поля при распространении радиоволн от стационарных радиопередатчиков, таких как базовые станции радиотелефонных сетей (сотовых/беспроводных), и наземных подвижных радиостанций, любительских радиостанций, АМ и FM радиовещательных передатчиков, телевизионных передатчиков не может быть определена расчётным путём с достаточной точностью. Для этого должны быть проведены измерения напряжённости поля. Если измеренные значения в месте размещения рециркулятора больше применимых уровней соответствия, то следует проводить наблюдения за работой рециркулятора в целях проверки его нормального функционирования.


Таблица 2

Электромагнитная эмиссия

Испытания на электромагнитную эмиссию	Соответствие	Электромагнитная обстановка. Указания
Радиопомехи по СИСПР 11	Группа 1	Рециркулятор использует радиочастотную энергию только для выполнения внутренних функций. Уровень эмиссии радиочастотных помех является низким и, вероятно, не приведёт к нарушениям функционирования расположенного вблизи электронного оборудования
Радиопомехи по СИСПР 11	Класс В	Рециркулятор пригоден для применения в любых местах размещения, включая жилые дома и здания, непосредственно подключенные к распределительной электрической сети, питающей жилые дома
Гармонические составляющие потребляемого тока по МЭК 61000-3-2	Класс А	
Колебания напряжения и фликер по МЭК 61000-3-3	Соответствует	

Таблица 3

Помехоустойчивость

Испытания на помехоустойчивость	Испытательный уровень по МЭК	Уровень соответствия	Электромагнитная обстановка
Электростатические разряды (ЭСР) по МЭК 61000-4-2	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$ кВ — воздушный разряд; $\pm 2, \pm 4, \pm 6$ кВ — контактный разряд	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$ кВ — воздушный разряд; $\pm 2, \pm 4, \pm 6$ кВ — контактный разряд	Полы помещения должны быть выполнены из дерева, бетона или керамической плитки. Если полы покрыты синтетическим материалом, то относительная влажность должна составлять не менее 30 %
Наносекундные импульсные помехи по МЭК 61000-4-4	± 2 кВ — для линий электропитания; ± 1 кВ — для линий ввода-вывода	± 2 кВ — для линий электропитания; ± 1 кВ — для линий ввода-вывода	Качество электрической энергии в электрической сети здания должно соответствовать типичным условиям коммерческой или больничной обстановки
Микросекундные импульсные помехи большой энергии по МЭК 61000-4-5	$\pm 0,5, \pm 1, \pm 2$ кВ — при подаче помех по схеме «провод — земля»; $\pm 0,5, \pm 1$ кВ — при подаче помехи «провод — провод»	$\pm 0,5, \pm 1, \pm 2$ кВ — при подаче помех по схеме «провод — земля»; $\pm 0,5, \pm 1$ кВ — при подаче помехи «провод — провод»	То же
Провалы, прерывания и изменения напряжения во входных линиях электропитания по МЭК 61000-4-11	Провалы: $U < 5$ %, 0,5 периода (10 мс); $U = 40$ %, 5 периодов (100 мс); $U = 70$ %, 25 периодов (500 мс); Прерывания: $U < 5$ %, 250 периодов (5000 мс) (U — испытательный уровень, % от напряжения электропитания переменного тока до подачи помехи)	Провалы: $U < 5$ %, 0,5 периода (10 мс); $U = 40$ %, 5 периодов (100 мс); $U = 70$ %, 25 периодов (500 мс); Прерывания: $U < 5$ %, 250 периодов (5000 мс)	—
Магнитное поле промышленной частоты (50/60 Гц) по МЭК 61000-4-8	Линейная плотность тока 3 А/м	Линейная плотность тока 3 А/м	Магнитное поле промышленной частоты следует обеспечить в соответствии с типичными условиями коммерческой или больничной обстановки
Кондуктивные помехи, наведённые радиочастотными электромагнитными полями по МЭК 61000-4-6	Напряжение 3 В (среднеквадратичное значение)	Напряжение 3 В (среднеквадратичное значение)	Расстояние между используемой мобильной радиотелефонной системой связи и любым элементом рециркулятора, включая кабели, должно быть не меньше рекомендуемого пространственного разнеса d , который рассчитывается в соответствии с выражением $d = 1,2\sqrt{P}$, где P — максимальная входная мощность, применительно к частоте передатчика
Излучаемое радиочастотное электромагнитное поле по МЭК 61000-4-3	Напряжённость магнитного поля 3 В/м в полосе частот от 80 МГц до 2,5 ГГц	Напряжённость магнитного поля 3 В/м	Рекомендуемый разнос: $d = 1,2\sqrt{P}$ при полосе частот от 80 до 800 МГц; $d = 2,3\sqrt{P}$ при полосе частот от 800 МГц до 2,5 ГГц. Напряжённость поля при распространении радиоволн от стационарных радиопередатчиков, по результатам наблюдений за электромагнитной обстановкой, должна быть ниже, чем уровень соответствия в каждой полосе частот. Могут иметь место помехи вблизи оборудования, маркированного знаком 

ния. Если в процессе наблюдения выявляется отклонение от нормального функционирования, то необходимо принять дополнительные меры, такие как переориентировка или перемещение рециркулятора.

Вне полосы частот от 150 кГц до 80 МГц следует обеспечить напряжённость поля менее 1 В/м. На частотах 80 и 800 МГц применяют большее значение напряжённости поля. Приведённые в табл. 3 выражения применимы не во всех случаях. На распространение электромагнитных волн влияет их поглощение или отражение от конструкций, объектов и людей.

Рециркулятор предназначен для применения в электромагнитной обстановке, при которой осуществляется контроль уровней излучаемых помех. Пользователь рециркулятора может избежать влияния электромагнитных помех, обеспечивая минимальный пространственный разнос между портативными и подвижными радиочастотными средствами связи (передатчиками) и рециркулятором, как рекомендуется в табл. 4, с учётом максимальной выходной мощности средств связи.

При определении рекомендуемых значений пространственного разноса d для передатчиков с номинальной максимальной выходной мощностью, не указанной в табл. 4, в приведённые в табл. 3 выражения подставляют номинальную максимальную выходную мощность P в ваттах, указанную в документации изготовителя передатчика.

Таблица 4

Рекомендуемые значения пространственного разноса между портативными и подвижными радиочастотными средствами связи и рециркулятором

Номинальная максимальная выходная мощность передатчика P , Вт	Пространственный разнос d , м, в зависимости от частоты передатчика		
	В полосе частот от 150 кГц до 80 МГц ($d = 1,2P$)	В полосе частот от 80 до 800 МГц ($d = 1,2P$)	В полосе частот от 800 МГц до 2,5 ГГц ($d = 2,3P$)
0,01	0,12	0,12	0,23
0,1	0,38	0,38	0,73
1	1,2	1,2	2,3
10	3,8	3,8	7,3
100	12	12	23

Рециркулятор должен быть размещён в помещении. Он подключается к однофазной сети напряжением 220 В переменного тока частотой 50/60 Гц с обязательным подключением заземляющего проводника. Рециркулятор расположен на подставке с колесиками, поэтому при его окончательном размещении в помещении рекомендуется поставить колесики на тормоза.

При размещении рециркулятора следует обеспечивать свободный доступ к двери корпуса для проведения регламентных и ремонтных работ по замене лампы, обслуживанию фильтров, проверке состояния ЭПРА, контактов внутренней поверхности корпуса, где расположена лампа, а также свободный доступ к главному выключателю, расположенному на задней стенке рециркулятора.

Не следует располагать рециркулятор вблизи решёток вытяжной вентиляции. В этом случае большая часть очищенного рециркулятором воздуха может удаляться через вытяжное окно, не успевая распространяться в помещении. Не следует располагать рециркулятор или устройства воздухораспределения таким образом, чтобы выходящая воздушная струя создавала для людей дискомфортные условия.

Работа рециркулятора в присутствии людей обеспечивает снижение уровня микробной обсеменённости воздуха в помещениях объёмом до 1000 м³. Для обеспечения снижения уровня микробной обсеменённости воздуха в помещениях большего объёма число рециркуляторов следует увеличивать пропорционально увеличению объёма помещения.

Для обеспечения комфортных условий в помещениях, оборудованных рециркуляторами, следует соблюдать общепринятые правила воздухообмена, изложенные в СНИП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Направление потока воздуха, создаваемого рециркулятором, по возможности должно совпадать с направлением основных конвективных потоков воздуха в помещении. При этом следует учитывать, что в отопительный сезон радиаторы отопления создают над собой восходящие воздушные потоки, распространяющиеся затем вдоль потолка и опускающиеся у противоположной стены помещения.

При включении рециркулятора на ограниченный период времени минимальную продолжительность его работы $T_{\text{мин}}$ рекомендуется определять таким образом, чтобы обеспечивать как минимум однократное прохождение всего объёма воздуха помещения $V_{\text{п}}$ через рециркулятор.

Целесообразно совмещать включение рециркулятора с проведением ежедневных уборок перед началом использования помещения по назначению, так как в процессе уборки может происходить интенсивное микробиологическое загрязнение воздуха.

Основными функциями панели оператора являются визуализация состояний рециркулятора, управление рециркулятором, коррекция технологических параметров. После загрузки на панели оператора отображается стартовый экран. В верхней части экрана отображается информация о состоянии рециркулятора.

Ввод рециркулятора в работу осуществляется следующим образом. Подключается вилка кабеля питания рециркулятора к розетке с напряжением ~220 В, частотой 50 Гц. Нажатием на главный выключатель 6 (см. рис. 2) включается рециркулятор. На экране панели оператора 2 выбирается режим работы рециркулятора на основе информации о режимах работы.

Нажатием на экране панели оператора 2 кнопки «ПУСК» запускается работа рециркулятора. После этого включается вентилятор и на экране появляется надпись «Продувка». Спустя 2 мин надпись исчезает, включается лампа и на экране появляется надпись «Прогрев лампы». Спустя еще 2 мин эта надпись исчезает и рециркулятор переходит в выбранный режим работы. Если в течение 10 мин не касаться панели оператора, то экран панели оператора переходит в режим ожидания. Для активации экрана необходимо его коснуться.

При необходимости можно провести дезинфекцию корпуса рециркулятора (кроме панели оператора) раствором 3%-ной перекиси водорода по ГОСТ 177—88 с добавлением 0,5 % моющего средства по ГОСТ 25644—96 или 1%-ным раствором хлорамина.

Основной источник микробиологического загрязнения воздуха — люди. Один человек выделяет в окружающий воздух 2000..6000 микроорганизмов в час: при разговоре — 800 микроорганизмов в минуту, при чихании до 40 000 микроорганизмов, поэтому задача очистки воздуха актуальна, особенно сейчас, когда весь мир борется с коронавирусом.

Библиографические ссылки

1. **Микаева С.А.** Создание нового поколения люминесцентных устройств с улучшенными световыми характеристиками. М.: Научтехлитиздат, 2004. 210 с.
2. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: Русайнс, 2017. 136 с.
3. **Микаева С.А.** Разработка и исследование технологии производства компактных люминесцентных ламп информационно-измерительных приборов и систем. М.: МГУПИ, 2007. 286 с.
4. **Микаева С.А., Микаева А.С., Бойчук М.И.** Сборка установки очистки воздуха // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 7. С. 302—307.
5. **Микаева С.А.** Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: Русайнс, 2018. 136 с.
6. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Современные электронные системы и устройства. М.: Русайнс, 2019. 186 с.
7. **Микаева С.А., Брысин А.Н.** Электротехника. Казань: Бук, 2018. 228 с.
8. **Микаева С.А., Брысин А.Н.** Промышленная электроника. Импульсные устройства и основы микропроцессорной техники. Казань: Бук, 2019. 250 с.

Ссылка для цитирования

Дюкин А.А., Микаева А.С., Микаева С.А. Медицинский рециркулятор // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 357—363. DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-8-357-363.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала.

При этом ссылка на журнал обязательна.



М.Б. Алесов, канд. техн. наук

(Раменское приборостроительное конструкторское бюро, г. Раменское Московской обл.)

mbalesov@spb.rpkb.ru

УПРАВЛЕНИЕ СОПРОВОЖДЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрена задача синтеза регулятора для программного автоматического сопровождения наземного подвижного объекта с помощью обзорно-поисковой системы летательного аппарата. Расчёт функции управления выполнен методом обратной динамической задачи отдельно по двум угловым каналам. Предложены учёт ограничений на величину управляющего воздействия и на углы линии визирования, а также использование в качестве эталонного уравнения нелинейного уравнения Льюиса с корректирующим дифференциальным членом.

Ключевые слова: программное сопровождение; синтез программного управления; метод обратной динамической задачи.

The synthesis problem of adjuster for software automatic escorting of a ground mobile object using a survey-search system of an aircraft is considered. The calculation of the control function is carried out by the method of the inverse dynamic problem separately for two angular channels. It is proposed to take into account the restrictions on the magnitude of the control action and on the angles of the line of sight, as well as to use the nonlinear Lewis equation with a correcting differential term as a reference equation.

Keywords: software support; synthesis of program control; method of the inverse dynamic problem.

Введение. Сопровождение наземного объекта (цели) с борта маневрирующего летательного аппарата (ЛА) заключается в непрерывном наведении линии визирования (ЛВ) обзорно-поисковой системы (ОПС) по известным геодезическим координатам и кинематическим параметрам цели с учётом текущих позиционных и кинематических параметров, получаемых от навигационной системы ЛА. Такая задача традиционно решается с помощью пропорциональных, интегральных и дифференциальных (ПИД) регуляторов, рассмотренных в работах И.Е. Казакова, В.Н. Исаева, О.Н. Гаспаряна, А.А. Багияна [1, 2], но без учёта ограничений и коррекции управления при значительных отклонениях от задаваемого положения ЛВ.

Данная работа посвящена синтезу автоматического регулятора, обеспечивающего управление исполнительным устройством визирования на основе расчётных позиционных и кинематических параметров и текущих выходных параметров объекта управления, с учётом ограничений на переменные состояния системы и величину управляющего воздействия. При синтезе управления используется обеспечивающий высокое качество установившихся режимов метод обратной динамической задачи, разработанный в публикациях Л.М. Бойчука, П.Д. Крутько, Р.И. Фурунжиева и др. [3–5]. Способы учёта

ограничений при синтезе управления динамическими системами рассмотрены в работах А.А. Колесникова, В.Е. Павловского, А.В. Савицкого [6, 7]. Для улучшения качества переходных процессов при нестационарных режимах управления применяется корректирующее нелинейное звено с обратной связью на основе уравнения Дж. Льюиса [8].

Постановка задачи и модель объекта управления. Исходными данными задачи являются: текущие геодезические координаты ЛА (широта, долгота, высота), угловые параметры положения (курс, тангаж, крен) и кинематические параметры (компоненты путевой скорости, вертикальная скорость, угловые скорости) ЛА, координаты и параметры движения наземного объекта, текущие параметры состояния ОПС (углы и угловые скорости ЛВ), заданные ограничения на углы и управляющие воздействия ОПС.

Положение линии визирования ОПС определяется двумя углами в связанной системе координат (ССК) ЛА: курсовым углом ζ_k относительно нормальной строительной оси ЛА (в плоскости продольной и поперечной оси, в направлении поперечной оси) и углом тангажа ζ_T относительно поперечной строительной оси ЛА (в плоскости симметрии, в направлении нормальной оси). Аналогичным образом определяются скорости изменения курсового угла

$\frac{d\zeta_{\kappa}}{dt}$ и угла тангажа $\frac{d\zeta_{\tau}}{dt}$. В дальнейшем предполагается (если не указано особо), что все угловые параметры измеряются в радианах.

Расчёт требуемых углов линии визирования выполняется по формулам

$$\zeta_{\tau} = \arctan \frac{Y_c}{\sqrt{X_c^2 + Z_c^2}}, \quad (1)$$

$$\zeta_{\kappa} = \arctan 2(Z_c, X_c),$$

где X_c, Y_c, Z_c — координаты цели в ССК ЛА, м.

Расчёт координат цели в ССК ЛА выполняется по формуле пересчёта систем координат (СК) в последовательности: геоцентрическая СК, топоцентрическая СК (NUE — nord, up, east), ССК:

$$[X_c \ Y_c \ Z_c]^T = C_{NUE}^c [C_g^{NUE} (X_g \ Y_g \ Z_g)^T + \Delta_g^{NUE}], \quad (2)$$

причём матрицы перехода и вектор смещения имеют вид

$$C_{NUE}^c = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \vartheta & c_{12} & c_{13} \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta \cos \gamma & -\cos \vartheta \sin \gamma \\ \sin \psi \cos \vartheta & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}^T;$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}};$$

$$C_g^{NUE} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \end{bmatrix};$$

$$\Delta_g^{NUE} = \begin{bmatrix} Ne^2 \cos \varphi \sin \varphi \\ Ne^2 \sin^2 \varphi - (N + h) \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$c_{12} = -\sin \gamma \sin \psi - \cos \gamma \cos \psi \sin \vartheta;$$

$$c_{32} = \sin \gamma \cos \psi - \cos \gamma \sin \psi \sin \vartheta;$$

$$c_{13} = -\cos \gamma \sin \psi + \sin \gamma \cos \psi \sin \vartheta;$$

$$c_{33} = \cos \gamma \cos \psi + \sin \gamma \sin \psi \sin \vartheta,$$

где X_g, Y_g, Z_g — прямоугольные координаты цели в геоцентрической СК, м; $[\cdot]^T$ — операция транспонирования матрицы; ϑ, γ — тангаж и крен ЛА соответственно; ψ — истинный курс ЛА; φ, λ — широта и долгота ЛА; h — высота ЛА над эллипсоидом, м; a, e^2 — большая полуось, м, и квадрат эксцентриситета эллипсоида.

Пространственные прямоугольные координаты цели в геоцентрической СК эллипсоида:

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_0 + h_0) \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ (N_0 + h_0) \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \\ [N_0(1 - e^2) + h_0] \sin \varphi_0 \end{bmatrix};$$

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_0}},$$

где φ_0, λ_0 — широта и долгота цели; h_0 — высота цели над эллипсоидом, м.

Скорости изменения требуемых углов визирования по курсу и тангажу рассчитываются по формулам

$$\frac{d\zeta_{\kappa}}{dt} = \frac{1}{D \cos \zeta_{\tau}} (-v_X \sin \zeta_{\kappa} + v_Z \cos \zeta_{\kappa});$$

$$\frac{d\zeta_{\tau}}{dt} = \frac{1}{D} (-v_X \cos \zeta_{\kappa} \sin \zeta_{\tau} + v_Y \cos \zeta_{\tau} - v_Z \sin \zeta_{\kappa} \sin \zeta_{\tau}); \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{bmatrix} = C_{NUE}^c \begin{bmatrix} V'_n - V_n \\ -V_u \\ V'_e - V_e \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} w_Y Z_c - w_Z Y_c \\ w_Z X_c - w_X Z_c \\ w_X Y_c - w_Y X_c \end{bmatrix};$$

$$D = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2 + Z_c^2},$$

где t — время, с; w_X, w_Y, w_Z — угловые скорости вращения относительно продольной, нормальной и поперечной оси ЛА, рад/с; v_X, v_Y, v_Z — компоненты относительной скорости цели в ССК ЛА, м/с; V_n, V_e — северная и восточная компоненты путевой скорости ЛА, м/с; V_u — вертикальная скорость ЛА, м/с; V'_n, V'_e — северная и восточная компоненты путевой скорости цели, м/с.

Управление линией визирования на основе требуемых углов и скоростей (1), (3) выполняется независимо по двум угловым каналам: курса и тангажа. В исполнительных устройствах управления визированием широко применяются электродвигатели постоянного тока с независимым возбуждением, передаточная функция которых описывается апериодическим звеном второго порядка [1]. В этом случае объект управления в переменных «угловая скорость (вход)» — «угловое положение (выход)» задаётся дифференциальным уравнением

$$T \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = u(t), \quad (4)$$

где T — электромеханическая постоянная времени, с; $y(t)$ — переменная состояния объекта управления (угол курса или тангажа); $u(t)$ — исконая функция управления, рад/с.

Для сопровождения движущейся цели с маневрирующего ЛА требуется синтезировать закон управления регулятора $u(t)$, обеспечивающий порядок астатизма по задающему воздействию не ниже третьего и обладающий свойством астатизма по возмущению. Кроме

того, в алгоритме следует учесть накладываемые на функцию управления ограничения вида

$$|u(t)| \leq u_0, \quad (5)$$

где u_0 — заданное максимальное значение функции управления, рад/с.

Для непосредственного ограничения синтезированного управления используется кусочно-линейная функция с насыщением вида

$$G(u) = \begin{cases} u, & |u| \leq u_0, \\ u_0 \operatorname{sign}(u), & u > u_0, \end{cases} \quad (6)$$

или её тригонометрическая и гиперболическая аппроксимации [6].

Большинство поисковых систем при сопровождении наземных целей имеют круговой допустимый диапазон курсового угла с базовым выходным интервалом $(-\pi, \pi]$, т. е. не имеет ограничений по положению ЛВ в горизонтальной плоскости. В этом случае для обеспечения непрерывности функции требуемого (расчётного) курсового угла следует использовать алгоритм развёртывания фазы по методу Шафера (метод поправочного значения), обеспечивающему отсутствие скачков более чем на π . На угол тангажа часто накладываются ограничения, которые непосредственно должны учитываться после расчёта требуемого значения по формуле (1).

Синтез управления и вопросы реализации.

При синтезе управления обозначение x_0 будет подразумевать требуемое расчётное значение курсового угла ζ_k или угла тангажа ζ_T ОПС, символом y обозначим текущее состояние объекта управления (данные поступают от ОПС — значение курсового угла ζ_k или угла тангажа ζ_T соответственно). Аналогичный смысл имеют обозначения переменных скорости входа и выхода регулятора $\frac{dx_0}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$.

Выражение разности требуемого расчётного x_0 и текущего эталонного x углов $z = x_0 - x$ задаётся в виде эталонного дифференциального уравнения второго порядка:

$$a_2 \frac{d^2 z}{dt^2} + a_1 \frac{dz}{dt} + z = 0, \quad (7)$$

где a_2 , a_1 — коэффициенты уравнения, c^2 , c ($a_2, a_1 > 0$).

Согласно методу обратных динамических задач [3, 4], после приравнивания старших производных уравнения объекта управления (4) и эталонного уравнения (7) выражение функции управления примет вид

$$u(t) = \left(1 - \frac{T}{a_2} a_1\right) \frac{dy}{dt} - \frac{T}{a_2} y + \frac{T}{a_2} x_0(t) + \frac{T}{a_2} a_1 \frac{dx_0(t)}{dt} + T \frac{d^2 x_0(t)}{dt^2}. \quad (8)$$

Для обеспечения астатизма системы по возмущениям к базовому выражению управления (8) следует добавить интеграл эталонного уравнения (7), тогда функция управления при небольших отклонениях от требуемого значения записывается как

$$u(t) = \frac{dy}{dt} - \left(\frac{T}{a_2} + \frac{\beta a_1}{a_2}\right) (x_0 - y) + \left(\frac{T}{a_2} a_1 + \beta\right) \left(\frac{dx_0}{dt} - \frac{dy}{dt}\right) + \frac{\beta}{a_2} \int_0^t (x_0 - y) d\tau, \quad (9)$$

где β — безразмерный коэффициент влияния интегральной составляющей.

На основе полученного выражения управления (9) передаточная функция разности регулирования $z = x_0 - y$ по входу x_0 имеет вид

$$W_{zx}(s) = \frac{T s^3}{T s^3 + \left(\frac{T}{a_2} a_1 + \beta\right) s^2 + \left(\frac{T}{a_2} + \frac{\beta a_1}{a_2}\right) s + \frac{\beta}{a_2}}, \quad (10)$$

где s — переменная частотной области, рад/с.

В результате система управления обладает астатизмом третьего порядка по задающему воздействию, что позволяет учитывать даже режимы ускоренного движения ЛА относительно цели. Кроме того, полученная система является астатической системой первого порядка по ошибке формирования управления. В отличие от стандартного регулятора, содержащего пропорциональное, интегральное и дифференциальное звенья (ПИД-регулятора), полученная функция управления (9) содержит дополнительную скоростную составляющую, описывающую движение объекта управления, и обеспечивает повышенный порядок астатизма для установившегося режима. Большинство современных ОПС содержит значения угловых скоростей $\frac{d\zeta_k}{dt}$, $\frac{d\zeta_T}{dt}$ в составе выходных параметров текущего состояния, поэтому синтезированный закон управления (9) вполне реализуем.

Для выбора параметров схемы a_2 , a_1 , β используется характеристическое уравнение (10):

$$s^3 + \left(\frac{a_1}{a_2} a_1 + \frac{\beta}{T}\right) s^2 + \left(\frac{1}{a_2} + \frac{\beta a_1}{T a_2}\right) s + \frac{\beta}{T a_2} = 0 \\ = s^3 + A_1 \Omega_0 s^2 + A_2 \Omega_0^2 s + \Omega_0^3, \quad (11)$$

где Ω_0 — заданный среднегеометрический корень, рад/с; A_1 , A_2 — безразмерные коэффициенты.

Из принятого условия затухания переходного процесса за один период $\eta = 0,98\%$ коэффициенты A_1 и A_2 рекомендуется рассчитывать по формулам [9]

$$A_1 = 3\sqrt{\frac{1}{k(1-a)a^2}}; A_2 = [1 - a(1-k)]aA_1^2, \quad (12)$$

где $k = \frac{\pi^2 + 4}{16}$ — критерий переходного режима; $a = 2/3$ — коэффициент, обеспечивающий равенство постоянных времени характеристического уравнения.

Приравнивая коэффициенты характеристического уравнения (11), получим выражения для расчёта параметров эталонного уравнения (7) и функции управления (9):

$$\beta = (1-a)A_1\Omega_0 T; \\ a_2 = \frac{(1-a)A_1}{\Omega_0^2}; a_1 = \frac{a(1-a)A_1}{\Omega_0}. \quad (13)$$

Отметим дополнительные особенности реализации функции управления.

Во-первых, в выражении (9) используется разность требуемого и текущего углов ОПС $z = x_0 - y$. Для разности углов тангажа, изменяющихся в заданных пределах, расчёт можно выполнять алгебраически, для разности курсового угла следует привести значения к диапазону $(-\pi, \pi]$.

Во-вторых, выходная функция управления при передаче значения в исполнительное устройство должна быть ограничена функцией (6). Кроме того, для предотвращения насыщения управления необходимо в критической зоне обнулить накопленный интеграл.

Для улучшения переходного процесса рекомендуется уменьшать коэффициент затухания в условиях значительного отклонения текущего угла от заданного значения, используя вместо эталонного уравнения (7) нелинейное уравнение Дж. Льюиса с корректирующим дифференциальным членом [5]

$$a_2 \frac{d^2 z}{dt^2} + a_1(1 - \mu|z|) \frac{dz}{dt} + z = 0, \quad (14)$$

где μ — коэффициент уменьшения затухания ($\mu \geq 0$).

В этом случае функцию управления запишем аналогично выражению (9):

$$u(t) = \frac{dy}{dt} - \left(\frac{T}{a_2} + \frac{\beta \hat{a}_1}{a_2} \right) (x_0 - y) + \\ + \left(\frac{T}{a_2} \tilde{a}_1 + \beta \right) \left(\frac{dx_0}{dt} - \frac{dy}{dt} \right) + \frac{\beta}{a_2} \int_0^t (x_0 - y) d\tau, \quad (15)$$

где функции-коэффициенты \hat{a}_1, \tilde{a}_1 зависят от отклонений, $\hat{a}_1 = a_1(1 - \mu|x_0 - y|/2)$, $\tilde{a}_1 = a_1(1 - \mu|x_0 - y|)$.

Моделирование процесса сопровождения.

Рассмотрим два комплексных примера имитационного моделирования работы регулятора сопровождения: при развороте ЛА перед движущейся целью и при пролёте ЛА точно над целью.

Моделирование движения ЛА в горизонтальной плоскости (полёт выполняется на постоянной высоте) описывается системой траекторных дифференциальных уравнений [10]. Примеры расчёта управления и моделирования движения выполнены при следующих параметрах системы управления: $T = 1$ с — электромеханическая постоянная времени; $\Omega_0 = 1$ рад/с — среднегеометрический корень; $a_1 = 0,58$ с, $a_2 = 0,54$ с² — рассчитанные коэффициенты эталонного уравнения; $\beta = 0,54$ — коэффициент интегральной составляющей; $\mu = 0,1$ — коэффициент уменьшения затухания; $u_0 = 22,5$ °с — максимальное значение функции управления; $\xi_k(0), \xi_T(0)$ — нулевые начальные значения углов линии визирования ОПС; $\Delta t = 100$ мс — шаг дискретизации по времени.

Разворот ЛА перед целью. На рис. 1 показаны горизонтальные траектории движения ЛА и наземного объекта относительно начальной точки траектории ЛА (начала процесса сопровождения) в координатах «восток — север» ($E - N$). Позиционные и кинематические параметры ЛА: начальный истинный курс $\psi = 0$; превышение ЛА над целью составляет $h - h_0 = 400$ м; истинная воздушная скорость ЛА $V = 180$ км/ч; составляющие скорости юго-западного ветра $U_X = 10$ м/с, $U_Z = 10$ м/с, постоянный угол правого крена $\gamma = 1,5^\circ$. Наземный объект движется в южном направлении со скоростью 36 км/ч.

На рис. 2 показаны графики изменения текущих выходных углов ОПС (по курсу и тан-

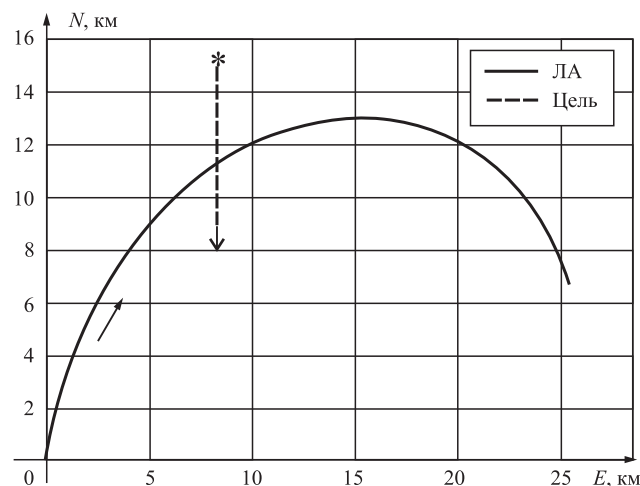


Рис. 1. Траектории ЛА и наземного объекта при развороте ЛА

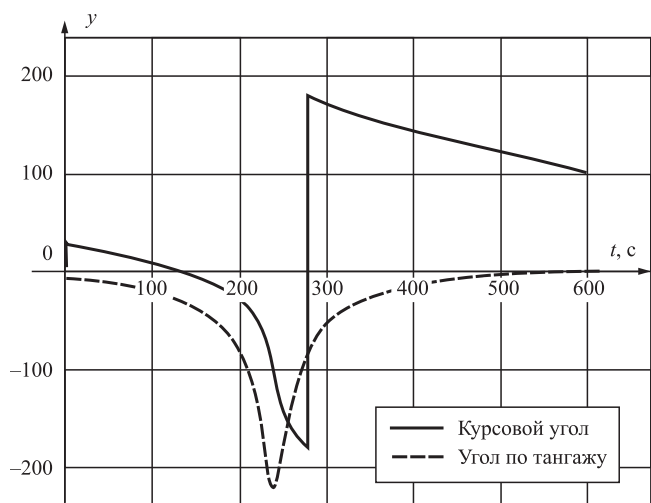


Рис. 2. Функции выходного угла курса и тангажа ОПС при управлении

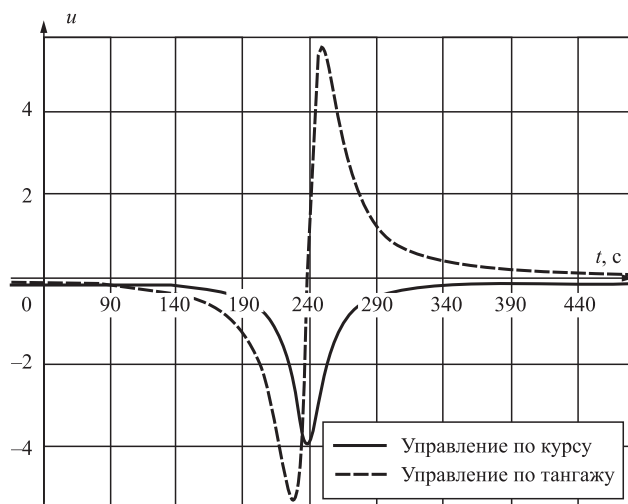


Рис. 3. Функции управления по курсу и тангажу

тангажу) в результате управления сопровождением цели с борта ЛА. Значения углов даны в градусах, при этом значения угла тангажа для удобства отображения увеличены в 10 раз. Время по оси абсцисс отсчитывается в секундах. В момент отсчёта времени 280 с угол курса проходит через граничное значение $\pm 180^\circ$ и меняет выходную величину с -180° на 180° (в реальности движение ЛВ по курсу сохраняется непрерывным). Угол тангажа достигает минимального отрицательного значения на 240-й с, в момент наибольшего сближения ЛА с целью.

На рис. 3 показаны графики функции управления (по курсу и тангажу) в процессе сопровождения. Значения функции управления имеют размерность — градусы в секунду, при этом значения управления по тангажу для удобства отображения увеличены в 10 раз. В момент отсчёта времени 240 с ЛА приближается к объекту на минимальное расстояние,

при этом управление по курсу достигает максимального по модулю значения, а управление по тангажу меняет знак на противоположный.

Пролёт ЛА над целью. В рассматриваемом примере ЛА выполняет горизонтальный пролёт прямо над неподвижной целью с постоянным превышением $h - h_0 = 500$ м и скоростью $V = 180$ км/ч (в условиях штиля).

На рис. 4 показаны графики изменения текущих выходных углов ОПС (по курсу и тангажу) в результате управления сопровождением цели с борта ЛА. Значения углов даны в градусах, время по оси абсцисс отсчитывается в секундах. В момент отсчёта времени 297 с, когда ЛА находится над целью, угол курса резко изменяется на противоположное значение с 0 на 180° , угол тангажу достигает минимального отрицательного значения -90° .

На рис. 5 показан график функции управления по курсу при пролёте непосредствен-

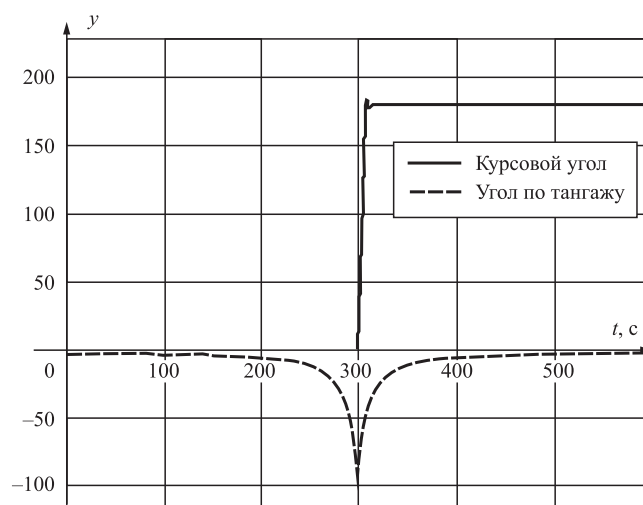


Рис. 4. Функции выходного угла курса и тангажа ОПС при управлении

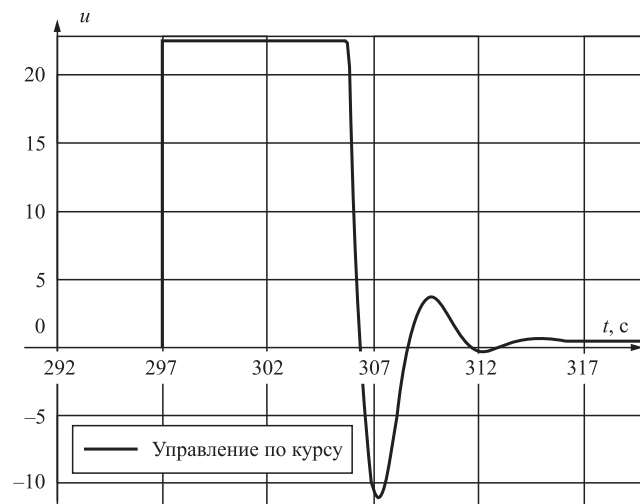


Рис. 5. Управление по курсу в районе цели

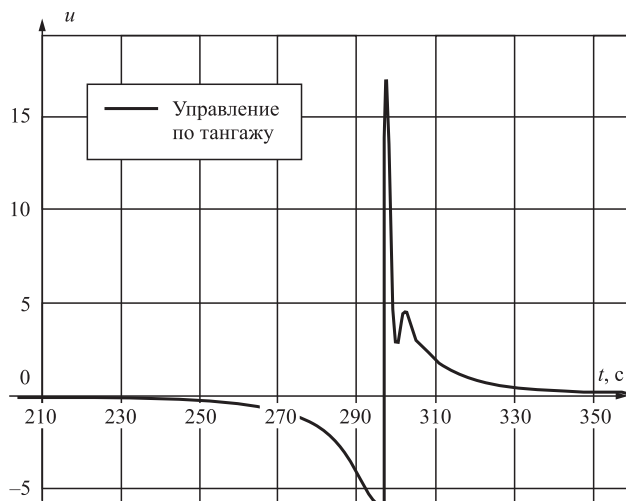


Рис. 6. Управление по тангажу в районе цели

но над целью. Значения функции управления имеют размерность — градусы в секунду. На 297-й с управление по курсу резко возрастает и достигает максимального по модулю значения u_0 , далее следует переходный процесс с двумя колебаниями.

На рис. 6 показан график функции управления по тангажу при пролёте непосредственно над целью. На 297-й с управление по тангажу резко меняет знак на противоположный, после чего наблюдается переходный процесс с небольшим перерегулированием.

Рассмотренные примеры работы регулятора при моделировании движения ЛА и цели демонстрируют работоспособность и устойчивость функционирования синтезированной системы сопровождения.

Заключение. Изложенная в работе методика решения важной практической задачи — программного сопровождения цели с подвижного ЛА — имеет достаточно полный для практического применения объём, включая формулы расчёта требуемых углов ЛВ ОПС, математическое описание синтеза регулятора, способ расчёта параметров системы управления, указание особенностей реализации и примеры моделирования системы. Несмотря на функциональную законченность решения представленный метод может применяться в составе или совместно с другими практическими задачами поискового комплекса ЛА, в частности, при выполнении программно-

корректируемого сопровождения, серийного применения лазерного дальномера, поддержки телевизионного автосопровождения цели.

Предложенный алгоритм сопровождения практически может быть использован в составе современных многометодных комплексов навигационно-поискового обеспечения летательных аппаратов.

Библиографические ссылки

1. Казаков И.Е., Исаев В.Н. Основы автоматических систем авиационного вооружения. М.: Изд-во ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1991. 332 с.
2. Гаспарян О.Н., Багиян А.А. Программное управление в задачах сопровождения наземных объектов с летательных аппаратов // Информационные технологии и управление. 2011. № 3. С. 234—240.
3. Бойчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. М.: Энергия, 1971. 112 с.
4. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. М.: Машиностроение, 2004. 576 с.
5. Гурский Н.Н., Слабко Ю.И., Фурунжиев Р.И., Хомич А.Л. Синтез регуляторов для управления движением мехатронных систем // Информатика. 2008. № 4. С. 34—40.
6. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. М.: Едиториал УРСС, 2019. 240 с.
7. Павловский В.Е., Савицкий А.В. Исследование обратной задачи для вычисления управляющих воздействий для квадрокоптера // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2017. № 17. 20 с.
8. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Кн. 3. Ч. 1 / под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1969. 608 с.
9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб.: Профессия, 2007. 752 с.
10. Алесов М.Б. Управление боковым траекторным движением летательного аппарата при ограничении длительности маневрирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер.: Естественные и технические науки. 2020. № 10. С. 29—34.

Ссылка для цитирования

Алесов М.Б. Управление сопровождением наземных объектов с летательных аппаратов // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 364—369. DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-8-364-369.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении,
а также непосредственно на сайте издательства
ООО «Инновационное машиностроение».

УДК 004.353.254.5:003.295.1

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

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРАНСЛЯЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Статья посвящена разработке электронного устройства для трансляции текстовой информации в код Морзе со светодиодной индикацией. Для передачи сообщений, закодированных кодом Морзе, применены световые сигналы. В процессе работы сконструирован электронный модуль Arduino Nano v.3.0, включающий в себя микроконтроллер, который позволяет подключать внешние устройства по стандартной шине USB, и светодиод, работой которого можно управлять, используя его для световой передачи информации кодом Морзе.

Ключевые слова: оптическое излучение; светодиод; светодиодная лента; цветность; электронное устройство; электрический сигнал; световой сигнал; символ; информация; код Морзе; микроконтроллер.

The article is devoted to the development of an electronic device for translating text information according to Morse code with LED indication. Light signals are used to transmit messages encoded with Morse code. In the process of work, an electronic module Arduino Nano v.3.0 is designed, which includes a microcontroller that allows you to connect external devices via a standard USB bus, and an LED, the operation of which can be controlled, using it for light transmission of information by Morse code.

Keywords: optical radiation; LED; LED strip; chromaticity; electronic device; electrical signal; light signal; symbol; information; Morse code; microcontroller.

В конце первой половины XIX в. Сэмюэль Морзе придумал способ передачи информации с помощью коротких и длинных электрических сигналов, установив для каждой буквы алфавита определённую комбинацию точек и тире.

Для повышения эффективности кодирования буквы, которые чаще употребляются в английском языке, кодируются более простыми сочетаниями точек и тире.

Изначально код Морзе предназначался для электрических телеграфов и радиотелеграфов. Он также хорошо подходил для передачи информации с помощью световых сигналов [1].

В наше время, как правило, применяют более современные средства связи, использующие более эффективные способы кодирования информации. Однако код Морзе, в основном в резервных каналах связи, до сих пор применяют на флоте, в МЧС и других организациях.

Код Морзе обеспечивает один из самых доступных и простых способов связи. Принимать сигнал можно на дальних расстояниях и в условиях сильных радиопомех, кодировать и декодировать послания — вручную, а передачу и приём информации — осуществить с помощью

простейших устройств. Часто код Морзе используется в чрезвычайных ситуациях, если из строя выходит более сложное оборудование.

Кроме использования электрических сигналов для передачи сообщений, закодированных кодом Морзе, можно применять световые сигналы. В этом случае приём сообщений можно осуществлять визуально. Световая сигнализация применяется для передачи информации в светлое и тёмное время суток с помощью светосигнальных приборов направленного и ненаправленного действия. В частности, источником света могут являться светодиоды, исследования характеристик которых проводились рядом авторов [1—8].

Светодиод (англ. light emitting diode — LED) представляет собой полупроводниковое устройство, излучающее свет при прохождении через него электрического тока. Свет возникает, когда частицы, несущие ток (известные как свободные электроны и дырки), аннигилируют в полупроводниковом материале в зоне $p-n$ перехода (рис. 1, 2).

Важной характеристикой светодиода является его номинальный ток. Для светодиода

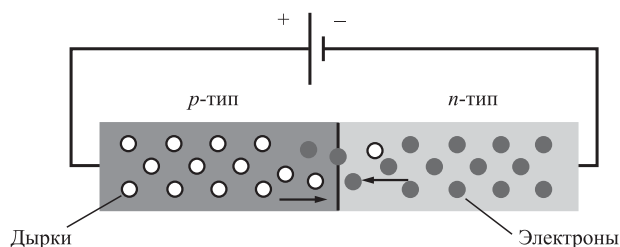


Рис. 1. Полупроводниковая природа светодиода

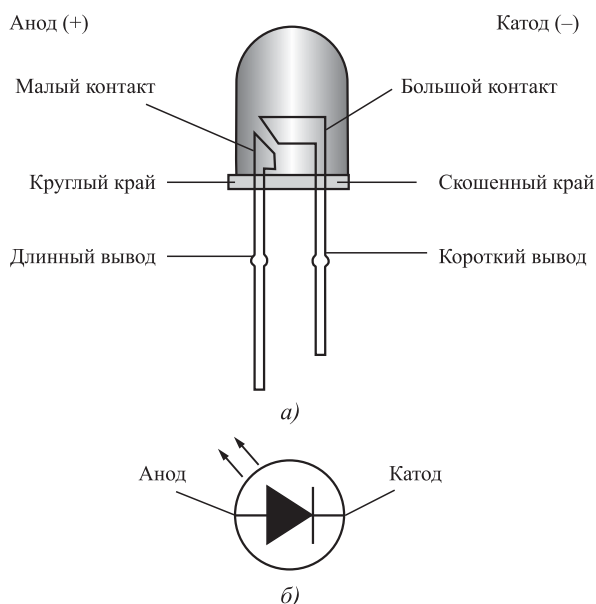


Рис. 2. Конструкция (а) и условное обозначение (б) светодиода

необходимо рассчитать номинал ограничивающего ток резистора в зависимости от рабочего напряжения, чтобы избежать повреждения светодиода чрезмерно большим значением тока.

Светодиоды имеют полярность. Чтобы светодиод светился, его анод должен быть соединён с плюсом источника питания, а катод — с минусом. Обычно у светодиода типа DIP (direct in-line package) ножка анода длиннее, чем ножка катода. К тому же со стороны катода корпус светодиода, как правило, скошен.

Несмотря на то что код Морзе достаточно прост, для его использования операторам требуется навык. Для обеспечения возможности неподготовленному оператору передавать текстовую информацию в разрабатываемом электронном устройстве для передачи световых сигналов кодом Морзе предлагается использовать стандартный электронный модуль Arduino, а для него разработать специальное программное обеспечение. Arduino является платформой с открытой архитектурой и программным обеспечением. Данный электронный модуль построен на основе недорогого микроконтроллера и позволяет подключать

внешние устройства по стандартной шине USB. В состав электронного модуля входит светодиод, работой которого можно управлять и таким образом использовать его для световой передачи информации кодом Морзе. Кроме того, электронный модуль может, например, управлять ключом любительской радиостанции, обеспечивая передачу кодом Морзе.

Основные характеристики электронного модуля Arduino Nano v.3.0

Микроконтроллер	Atmel ATmega328
Напряжение питания, В	5
Входное питание (рекомендованное), В	7...12
Число цифровых пинов	14
в том числе могут использоваться	
в качестве выходов ШИМ	6
Число аналоговых входов	8
Максимальный ток цифрового выхода, мА	40
Флэш-память, КБ	32
ОЗУ, КБ	2
EEPROM, КБ	1
Частота, МГц	16
Размеры электронного модуля, мм	19 × 42
Масса, г	7

На рис. 3 приведена схема электронного модуля Arduino Nano v.3.0, который использован в рассматриваемом проекте.

В данной статье для набора передаваемой кодом Морзе текстовой информации предлагается использовать стандартный компьютер, подключаемый к электронному модулю Arduino Nano v.3.0 по шине USB. При таком подключении модуля к компьютеру имеется возможность как программировать электронный модуль, так и записывать в модуль текстовую информацию с последующей передачей кодом Морзе путём зажигания входящего в состав модуля светодиода L. При этом на выводе D13 модуля синхронно появляется напряжение +5 В, что позволяет подключать модуль вместо передающего ключа любительской радиостанции.

В состав используемого в данном проекте электронного модуля Arduino Nano v.3.0 входит микросхема CH340G, предназначенная для эмуляции UART COM-порта на шине USB компьютера. Для её корректной работы требуется установить на компьютер соответствующий программный драйвер.

Для разработки программного кода для электронного модуля Arduino Nano в данном проекте использована стандартная программная среда разработки Arduino IDE, содержащая полезные библиотеки.

Для набора текстовой информации, предназначенной для передачи кодом Морзе, может

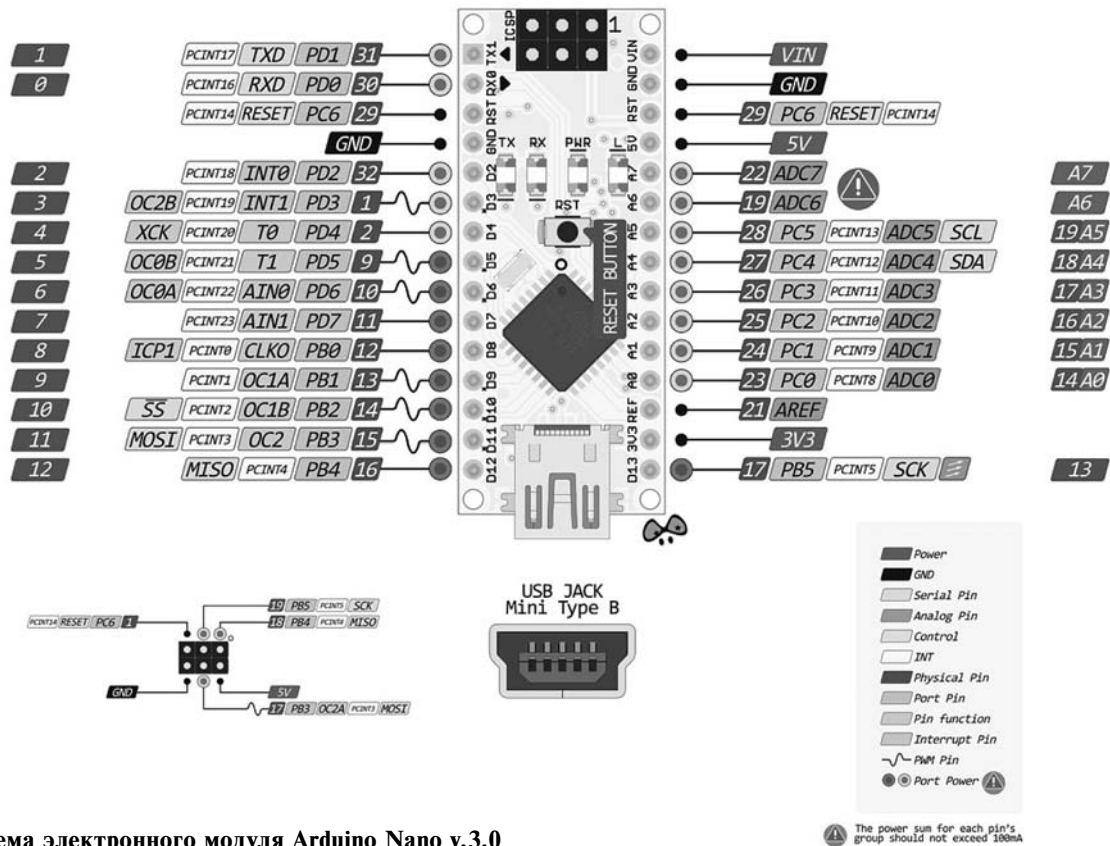


Рис. 3. Схема электронного модуля Arduino Nano v.3.0

использоваться любая стандартная программа, управляющая СОМ-портом. В данном проекте использована бесплатная программа Tera Term.

Скорость передачи информации по СОМ-порту выбрана 9600 Бод, что вполне достаточно для обеспечения обычного темпа набора текстовой информации оператором.

На рис. 4 приведена блок-схема разработанной программы. Программа состоит из основного цикла и обработчика прерываний от СОМ-порта. Для исключения пропуска принимаемых с СОМ-порта символов при переменном темпе ввода текстовой информации, а также для корректного развёртывания во времени (без заметных побочных задержек) сигнала кода Морзе в программе используется кольцевой буфер размером 512 байт.

В буфер помещаются принимаемые по СОМ-порту символы, которые образуют очередь на передачу.

Внешний вид разработанного на базе электронного модуля Arduino Nano v.3.0 универсального электронного устройства для передачи световых сигналов кодом Морзе показан на рис. 5.

В заключение следует отметить, что при помощи недорогих контроллеров Arduino можно создавать различные полезные сред-

ства автоматизации, применимые как для решения бытовых задач, так и для нужд промышленности.

Используемые в платах Arduino относительно медленные, но оснащённые богатой периферией микроконтроллеры, могут программироваться как средствами стандартной

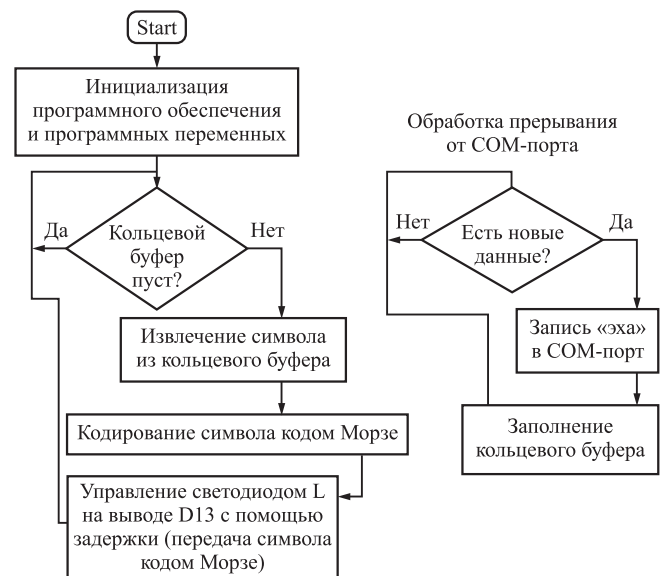


Рис. 4. Блок-схема разработанной программы



Рис. 5. Разработанное универсальное электронное устройство для передачи световых сигналов кодом Морзе

программной среды разработки Arduino IDE, так и программными средствами, поставляемыми производителями микроконтроллеров. Последнее достигается благодаря наличию на платах Arduino аппаратного отладочного интерфейса JTAG. В результате появляется возможность как осуществлять гибкую настройку платы, так и эффективно использовать все ресурсы интегрированного микроконтроллера.

Библиографические ссылки

1. **Рекомендация МСЭ-R M.1677-1(10/2009).** Международный код Морзе. Серия М. Подвижная спут-

никовая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы. ITU 2010.

2. **Myshonkov A.B., Zheleznikova O.E.** Temperature measurement method development for light-emitting diode crystal // J. of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. No. 7. P. 1931—1934.

3. **Железникова О.Е., Синицына Л.В., Амеликина С.А., Микаева С.А.** Исследования и практические рекомендации по применению систем освещения со светодиодными источниками света // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 3. С. 45—48.

4. **Zheleznikova O.E., Amelkina S.A.** Experimental research facility with LED lights // Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. Vol. 6. No. 2. P. 94—100.

5. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: Русайнс, 2017. С. 150.

6. **Микаева С.А.** Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: Русайнс, 2018. С. 135.

7. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Современные электронные системы и устройства. М.: Русайнс, 2019. С. 186.

8. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Промышленная электроника. Актуальные электронные приборы, устройства, установки и системы. М.: Русайнс, 2020. С. 172.

Ссылка для цитирования

Железникова О.Е., Журавлева Ю.А., Микаева С.А. Электронное устройство для трансляции текстовой информации // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 370—373.

УДК 004.5

А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф., **В.В. Денисенко**, канд. техн. наук,
И.А. Высоцкая, канд. физ.-мат. наук, **С.Е. Демичев**, **А.А. Берестовой**, канд. техн. наук
(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

i.a.trishina@gmail.com

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УСЛОВИЯХ ОНЛАЙН-ТРАНСФОРМАЦИИ

Представлены результаты анализа подходов к обучению и взаимодействию искусственного интеллекта при создании чат-ботов и обусловлена их актуальность в современных условиях. Определены основные этапы проектирования чат-ботов с искусственным интеллектом.

Ключевые слова: искусственный интеллект; проектирование программ; чат-бот.

The analysis results of approaches to teaching and interaction of artificial intelligence in the creation of chat bots are presented and their relevance in modern conditions is determined. The main stages of designing chat bots with artificial intelligence are determined.

Keywords: artificial intelligence; software design; chat bot.

Введение. В 2020 г. малый и средний бизнес столкнулся не столько с проблемой организации рабочих мест сотрудников, работаю-

щих удалённо, сколько с отсутствием детальности системы работы на местах и её сложной трансформацией. Несмотря на все сложности

с аппаратной и программной частями появилось понятие онлайн-бизнеса, заставившее потесниться сегмент рынка, который изначально и до текущего момента подстраивался под функционирование только в сети.

Государственные предприятия, которые были изначально сформированы и трактовались как учреждения с личным приёмом граждан, стали трансформироваться в онлайн-формат. Так, например, одним из таких учреждений является факультет довузовской подготовки Воронежского государственного университета инженерных технологий.

Основными проблемами в создании онлайн-приёмной выступали сразу несколько факторов:

- создание решения в кратчайшие сроки;
- реализация основных функций секретаря и онлайн-помощника;
- простая реализация для дальнейшей модификации и расширения возможностей.

Одним из путей повышения эффективности работы организации является создание виртуального секретаря, который мог бы стать линией поддержки первого уровня и решать наиболее часто поступающие вопросы от заявителей, а в случае невозможности ответить — переадресовать абонента на квалифицированного в данном вопросе сотрудника.

Целями исследования являются анализ и классификация онлайн-помощников (чат-ботов), а также формулировка этапов проектирования программ, использующих искусственный интеллект (ИИ).

Программно-технические средства искусственного интеллекта. В самом общем смысле чат-бот — компьютерная программа, которая интерактивно имитирует человеческую речь (устную или письменную) и позволяет общаться с цифровыми устройствами как с живыми людьми [1]. Чат-боты, в основе которых лежат искусственный интеллект, автоматические правила, обработка естественного языка (NLP) и машинное обучение (ML), позволяют обрабатывать данные и давать ответы на любые виды запросов.

Чат-боты часто используются для улучшения управления услугами информационных технологий, которые всё больше уходят в сторону самообслуживания и автоматизированных процессов, предлагаемых персоналу компании. Интеллектуальный чат-бот позволяет легко автоматизировать такие стандартные

задачи, как изменение паролей, обновление статуса систем, предупреждение о временном отключении и управление знаниями, и сделать их доступными круглосуточно путём расширения доступа к распространённым голосовым и текстовым диалоговым интерфейсам [2]. Что касается бизнеса, то чат-боты обычно используются в центрах поддержки заказчиков для управления входящими обращениями и направления заказчиков к соответствующим сотрудникам. Также они часто используются для внутренних целей, например, для адаптации новых сотрудников и помощи всем сотрудникам в выполнении стандартных операций, включая планирование отпусков, обучение, заказ компьютеров и канцелярских принадлежностей, а также других операций самообслуживания, не требующих вмешательства человека.

Онлайн-помощники предоставляют предприятиям возможность персонализированного, а также активного взаимодействия, обеспечения и последующего увеличения масштаба бизнес-деятельности, обеспечивая конкурентное преимущество на рынке. Например, предприятие, полагающееся только на своих работников компании, ограничивает тем самым количество клиентов. Таким образом, компания не имеет возможности наращивать клиентскую базу. Чтобы быть экономически эффективной, рассчитывая в основном лишь на человеческие возможности, компании приходится применять стандарты и скрипты для работы сотрудников. Это ведёт к ограничению применения персонального подхода и ухудшению качества оказываемых услуг.

Тенденции рынка приложений обмена сообщениями становятся предпочтительнее обычной связи и обмена СМС и ММС, согласно исследованиям потребителей и в результате попыток российских операторов ввести стандартизацию для компаний, предоставляющих эти услуги. Реализации виртуальных помощников, разработанные под эти платформы, обеспечивают качество и скорость ответа на вопросы пользователей, увеличивая удобство клиентов и повышая имидж компании.

В банковской сфере такие помощники отвечают на запросы пользователей в среднем на 4 мин быстрее, чем операторы традиционного колл-центра. В данном случае возможности, которые помогают бизнесу достигать большей эффективности и снижать затраты, также вле-

кут за собой преимущества для заказчиков, так как повышают уровень удобства для них.

Онлайн-помощники повышают операционную эффективность и обеспечивают экономию для предприятия, а для заказчиков и работников предлагают дополнительные услуги и повышают удобство. Благодаря им компания имеет возможность оперативно реагировать на самые разные запросы заказчиков и решать их проблемы.

Чат-боты позволяют предприятию общаться с заказчиками в индивидуальном порядке, не привлекая к этой работе сотрудников, и сократить затраты на оплату их труда. Например, большинство типичных вопросов и проблем, которые возникают у заказчиков, решаются очень легко. Но для этого компаниям приходится разрабатывать руководства по устранению различных неисправностей и заблаговременно готовить ответы на наиболее часто задаваемые вопросы. Чат-боты — прекрасная персональная альтернатива письменным руководствам или разделам вопросов и ответов.

Чат-боты бывают двух основных видов: декларативные, ориентированные на задания, и предиктивные на основе данных, работающие в режиме диалога.

Декларативные боты — программы единственного назначения, основной целью которых является выполнение одной функции [3]. Используя правила, NLP и в меньшей степени технологию машинного обучения, они отвечают на запросы пользователей автоматически, но делают это в режиме диалога. Общаться с такими чат-ботами нужно очень структурированно, с учётом специфики, поэтому в основном они используются для выполнения функций поддержки и обслуживания, например, в интерактивных, полнофункциональных сервисах вопросов и ответов. Чат-боты, ориентированные на задания, могут отвечать на стандартные вопросы, например, о часах работы, или выполнять простые операции без большого числа разных переменных [4].

Предиктивные чат-боты на основе данных, работающие в режиме диалога, часто называются виртуальными или цифровыми помощниками. Они обладают более развитыми интерактивными и персонализированными возможностями, чем чат-боты, ориентированные на задания. Эти чат-боты учитывают контекст и используют принципы понимания естественного языка (NLU), NLP и машинное

обучение, чтобы обучаться в процессе работы. Они применяют предсказательные и аналитические способности для персонализации на основе профилей пользователей и их поведения в прошлом. Цифровые помощники могут изучать предпочтения пользователя в течение времени, предоставлять рекомендации и даже предугадывать потребности. Также они могут не только отслеживать данные и намерения, но и инициировать диалог.

Но разделение чат-ботов лишь на эти категории не даёт полного и чёткого представления о внутренней работе ИИ. Следуя этой логике, рассмотрим основные подходы к обучению и организации взаимодействия искусственного интеллекта:

символьный подход — характеристики искусственного интеллекта могут быть проанализированы и интерпретированы благодаря манипуляциям с символами;

логический подход — программы на основе логического подхода сводятся к набору правил для получения результата;

агентно-ориентированный подход, при котором интеллект является вычислительной частью, способной достигать поставленных перед интеллектуальной машиной целей;

гибридная интеллектуальная система, в которой для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [4];

символьное моделирование мыслительных процессов или моделирование рассуждений, для которого характерны планирование и диспетчеризация, принятие решений, теория игр, доказательство теорем и прогнозирование;

обучение в процессе применения решений множества сходных задач, для чего используются средства математической статистики, численных методов, математического анализа, методов оптимизации, теории вероятностей, графов и различные техники работы с данными в цифровой форме;

биокомпьютинг или *квазибиологическая парадигма*, направленная на разработку и использование компьютеров, функционирующих подобно живым организмам или содержащих биологические компоненты, условно — биокомпьютеры;

NLP — общее направление ИИ и математической лингвистики, подразумевает компьютерный анализ и синтезирование текстов на естественных языках. Компьютерный ана-

лиз позволяет понимать язык, а синтезирование отвечает за генерацию целостного и логичного текста. Решение этих проблем позволит создать интерфейс взаимодействия между машинами и человеческим интеллектом.

Понимание текста имеет ценность, когда создаётся система, которая автоматически анализирует текст и имеет возможность извлекать факты об интересующих организациях, продуктах и людях. В данном случае важным является выделение семантики: определение того, что написано, класса подписей, намерения пользователя, интонация, тональность и другие факторы, придающие речи эмоциональную и смысловую окраску.

Понимание — одна из сложнейших задач искусственного интеллекта. Интеллектуальный помощник, способный распознавать, понимать и анализировать текст, даст возможность предоставлять информацию собеседнику в любое время без трудозатрат работников. Соответственно, в решении вопроса о чат-боте, исполняющем роль помощника, основной целью является построение естественно-языкового интерфейса.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что разработка чат-ботов с ИИ осуществляется в несколько этапов:

I этап — создание вопросно-ответной системы, способной принимать вопросы и отвечать на них на естественном языке. Вопросно-ответная система позволит классифицировать вопросы, определять их тип и ожидаемый ответ. Определение через фильтр позволит создавать похожие на ожидаемый ответ варианты для коммуникации с пользователем, а в последующем выдавать «правильный» ответ, ожидаемый пользователем;

II этап — переход к обработке естественного языка на основе Natural Language Processing, который обладает возможностями анализировать текст, распознавать человеческую речь, извлекать нужную информацию, осуществлять интеллектуальный поиск, анализировать высказывания и тональность текста, генерировать текст, синтезировать речь, переводить машинным методом, реферировать, аннотировать и упрощать текст.

После окончания II этапа следует рассмотреть необходимость и целесообразность определения III этапа с трансформацией ИИ до стадии Natural Language Understanding. В данном случае рекомендуется использовать группу людей, которые будут заниматься разметкой датасета, исполняя роль учителя, выделяя эмоции, разделяя на классы и тональности [2]. После этого, возможно, следует продумать признаковое описание и на его основе получать вектор либо слова текста и осуществлять обучение ИИ.

Заключение. В ближайшем будущем ИИ можно будет использовать совместно с развивающимися технологиями 5G. Компании, сотрудники и потребители всё чаще будут использовать такие усовершенствованные функции чат-ботов, как быстрые рекомендации и прогнозы, простой доступ к видеоконференциям высокой чёткости из режима диалога и др. Эти и другие возможности изучаются и будут развиваться по мере развития ИИ, NLP и машинного обучения.

Библиографические ссылки

1. **Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Савченко И.И., Зайцева М.А.** Использование нейронных сетей при распознавании рукописного текста // VIII нац. науч.-практ. конф. с международным участием: моделирование энергоинформационных процессов, 2020. № 1. С. 554—560.
2. **Денисенко В.В., Евтеева К.С., Савченко И.И., Скрыпников А.В.** Использование искусственного интеллекта для обработки персональных данных // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 7-1(46). С. 110—114.
3. **Ураев Д.А.** Классификация и методы создания чат-бот приложений // International scientific review. 2019. С. 30—33.
4. **Ретабоуил С.** Android NDK. Разработка приложений под Android на C/C++. М.: ДМК пресс. Электронные книги, 2014. 496 с.

Ссылка для цитирования

Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Высоцкая И.А., Демичев С.Е., Берестовой А.А. Программно-технические средства искусственного интеллекта в условиях онлайн-трансформации // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 373—376.

Уважаемые читатели!

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



Е.А. Шахрай, Е.В. Лубенцова, д-р техн. наук, доц.,
В.Ф. Лубенцов, д-р техн. наук, доц.
(Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар)
vf.lubentsov@yandex.ru

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА С АППРОКСИМИРУЮЩИМ УПРАВЛЕНИЕМ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Исследована параметрическая чувствительность показателей качества регулирования, обоснованы наиболее значимые параметры настроек регулятора для переходного и установившегося режимов системы. Установлен диапазон минимальных и максимальных значений коэффициента чувствительности, при котором показатели качества чувствительны к вариации параметров настройки исследуемого регулятора. Результаты проведенного анализа позволяют выбирать приемлемые диапазоны варьирования параметров настроек регулятора на этапе разработки многорежимных систем управления.

Ключевые слова: чувствительность показателей качества; регулятор с аппроксимирующей функцией управления; многорежимная система управления.

The parametric sensitivity of the control quality factors is investigated; the most significant parameters of the regulator settings for the transient and steady-state modes of the system are validated. The range of minimum and maximum values of the sensitivity coefficient, at which the quality indicators are sensitive to variations in the tuning parameters of the investigated regulator is established. The results of the analysis permit to choose acceptable ranges for the parameters variation of the regulator settings at the stage of developing multi-mode control systems.

Keywords: sensitivity of quality indicators; regulator with approximating control function; multi-mode control system.

Введение. При синтезе многорежимной системы управления решается задача выбора настроек регулятора с учётом режимов функционирования системы. Это связано с тем, что показатели качества для режимов и параметры регулятора, обеспечивающие их наилучшее значение, разные. Например, для наиболее часто встречающихся переходного и установившегося режимов быстроедействие и точность не могут быть обеспечены одинаковыми настройками регулятора. Проблема перенастройки регулятора при смене режимов также возникает в системах программного управления и стабилизации с типовыми ПИ- и ПИД-регуляторами для одновременной оптимальной обработки задающего воздействия и компенсации возмущения при частых изменениях воздействий. Однако существующие методы синтеза типовых регуляторов и тем более нелинейных регуляторов с аппроксимирующим управлением (РАУ) недостаточно полно рассмотрены для многорежимных систем. С учётом повышающихся требований

к качеству САУ выбор настроек регулятора с учётом режимов функционирования системы является актуальной задачей.

Формулировка цели и постановка задачи. Для решения этой задачи в работе использован метод параметрического анализа абсолютных и относительных коэффициентов чувствительности. Данные коэффициенты позволяют оценить силу и направление влияния на показатели качества переходных процессов в САУ параметров настроек РАУ проектируемой системы (оценить чувствительность показателя качества к настройкам регулятора). В качестве регулятора многорежимной системы рассмотрен многоуровневый регулятор, полученный аппроксимацией многопозиционной релейной характеристики (рис. 1) и уравнением вида

$$U(\varepsilon) = \left[\frac{M_1}{1 + \exp(-\lambda\varepsilon)} - \frac{M_1}{1 + \exp(\lambda\varepsilon)} \right] + \left[\frac{M_2}{1 + \exp[-\lambda(\varepsilon - a)]} - \frac{M_2}{1 + \exp[\lambda(\varepsilon + a)]} \right], \quad (1)$$

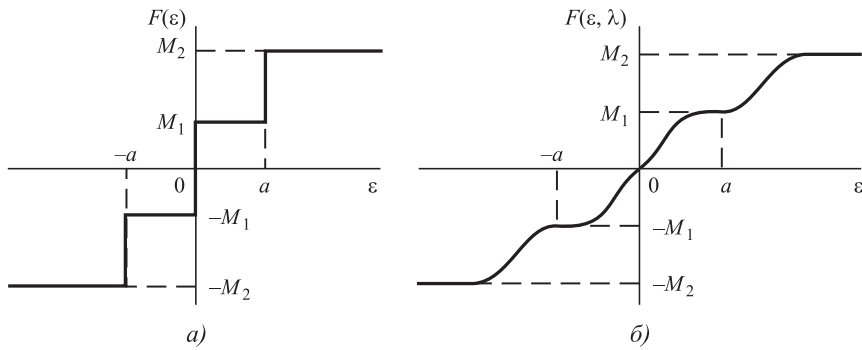


Рис. 1. Статические характеристики многопозиционного релейного регулятора (а) и регулятора с аппроксимирующей функцией (б)

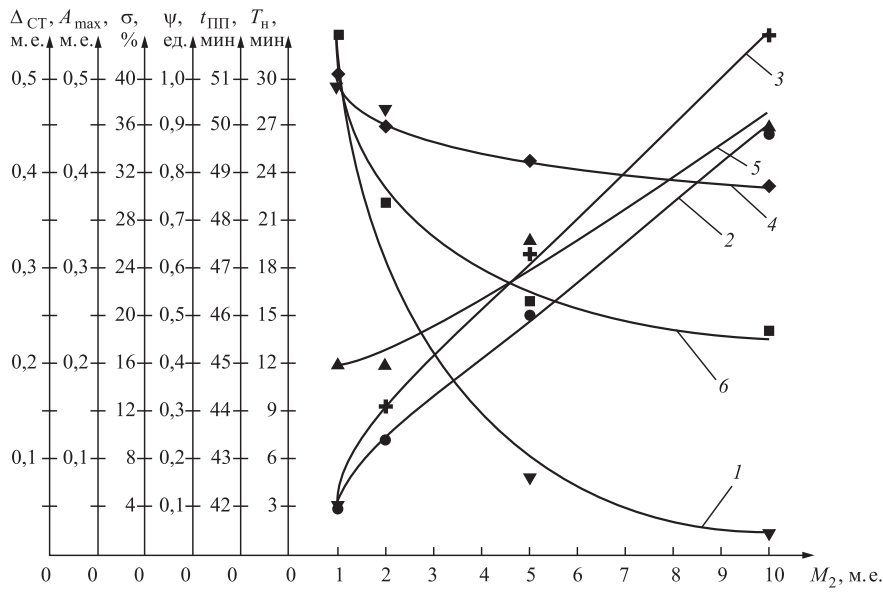


Рис. 2. Зависимость показателей качества переходных процессов в системе с РАУ от M_2 при $\lambda = 50$ [1]:

1 — время нарастания (T_n); 2 — максимальное динамическое отклонение (A_{max}); 3 — перерегулирование (σ); 4 — степень затухания (Ψ); 5 — время переходного процесса ($t_{пп}$); 6 — статическая ошибка ($\Delta_{ст}$)

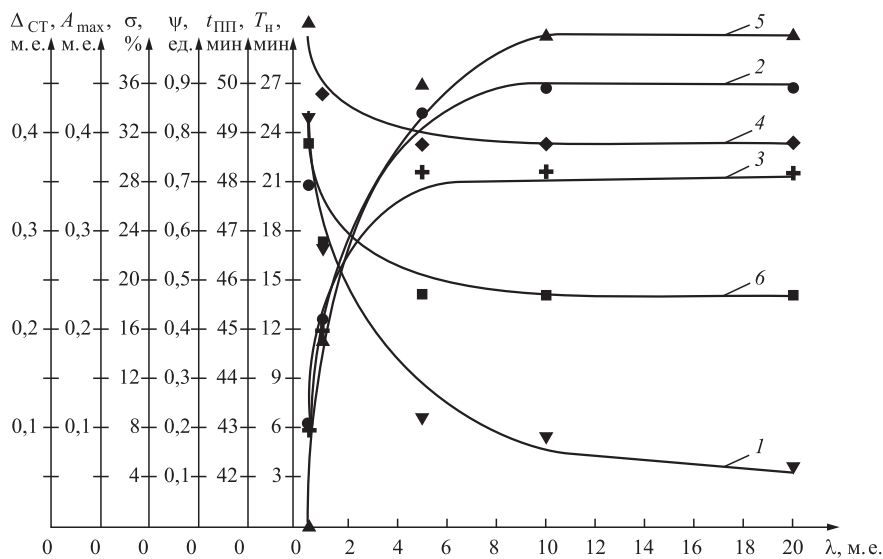


Рис. 3. Зависимость показателей качества переходных процессов в системе с РАУ при $M_1 = 5$ ед., $M_2 = 10$ ед. и различных значениях λ [1]

где M_1, M_2 — параметры настройки, определяющие величину регулирующего воздействия в зоне нечувствительности (ЗН) и за её пределами соответственно ($M = M_2$; $M_1 = kM_2$); ε — ошибка регулирования; λ — параметр настройки, определяющий наклон линейного участка характеристики; a — половина ЗН.

Одной из особенностей регуляторов на основе аппроксимирующей характеристики (1) является простота реализации нелинейной характеристики, позволяющей придать регулятору свойства быстродействия в переходном режиме и точность в установившемся режиме. В результате применения РАУ становится возможным повышение нечувствительности (робастности) систем управления к смене режимов при одновременном сохранении области устойчивости. В многорежимных системах управления кроме сохранения устойчивости необходимо обеспечить многокритериальную оценку качества функционирования системы.

Выбор критерия качества регулирования зависит от цели использования регулятора. Однако управление объектом при выводе на режим, переход от одного уровня задания на другой при программном управлении и поддержание постоянного значения параметра в условиях действия возмущений можно считать основными режимами многих промышленных систем. Для оценки качества управления в основных режимах работы системы с РАУ — переходном и установившемся — могут быть использованы прямые показатели качества переходных процессов. Графики зависимости показателей качества переходных процессов от параметров настроек регулятора, полученные в работе [1], приведены на рис. 2 и 3.

Из графиков (см. рис. 2 и 3) видно, что направление влияния на показатели качества параметров регулятора при $M - \text{var}, \lambda - \text{const}$ и при $\lambda - \text{var}, M - \text{const}$ идентично. В подтверждение этому были вычислены коэффициенты корреляции [2] между показателями качества для зависимостей при $M - \text{var}, \lambda - \text{const}$ и при $\lambda - \text{var}, M - \text{const}$.

Результаты расчёта коэффициента парной корреляции приведены в табл. 1.

Для оценки значимости коэффициента корреляции использован t -критерий Стьюдента [3]. Значение t -критерия сравнивают с расчётным значением при заданном уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 8$. Если расчётное значение t -критерия оказывается больше табличного, то коэффициент корреляции признается значимым, в ином случае — нет.

Результаты проверки гипотезы о признании коэффициента корреляции значимым приведены в табл. 1, из которой следует, что все коэффициенты корреляции являются значимыми.

Для качественной оценки связи в корреляционном анализе применяется шкала англий-

ского статистика Чеддока [4]. Величина коэффициента корреляции 0,6897, находящаяся в пределах от 0,5 до 0,7, согласно шкале Чеддока свидетельствует о заметной связи (близкой к высокой) между степенями затухания при изменении M и λ . Величина коэффициента корреляции 0,7633 и 0,8073, находящаяся в пределах от 0,7 до 0,9, согласно шкале Чеддока свидетельствует о высокой связи между максимальным динамическим отклонением при изменении M и λ . Величина коэффициента корреляции 0,9866 и 0,9908, находящаяся в пределах от 0 до 0,99, согласно шкале Чеддока свидетельствует о высокой связи между статическими ошибками при изменении M и λ .

Однако наличие большого числа критериев, с одной стороны, способствует адекватному анализу свойств исследуемой системы, но, с другой стороны, при синтезе системы, как известно, затруднительно или даже невозможно выбрать значения настроек алгоритма управления, оптимальных по нескольким критериям качества. Из полученных результатов следует, что установить однозначную зависимость между настроечными параметрами M либо λ и показателями качества переходных процессов невозможно. В то же время, учитывая режим системы, требуемый при этом вид переходного процесса в данном режиме и связь между показателями (например, используемый в расчётах показатель качества — степень затухания, функционально связан со степенью колебательности) при выборе параметров РАУ можно ограничиться парой показателей качества для переходного и установившегося режимов: для неколебательного переходного процесса — «время нарастания» и «максимальное динамическое отклонение»; для колебательного переходного процесса — «степень затухания» и «статическая ошибка». Целесообразность выбора данных показателей обусловлена тем, что связь показателей «времени нарастания» и «статической ошибки» с остальными показателями наибольшая ($R_{11} = 0,9908, R_{66} = 0,9866$), а показателей «максимальное динамическое отклонение» и «степень затухания» — наименьшая ($R_{44} = 0,6897, R_{22} = 0,7633$). Такой выбор исключает использование функционально связанных показателей и отвечает виду переходного процесса в переходном и установившемся режимах.

Таким образом, установлен идентичный характер изменения показателей качества. Однако значимость коэффициентов корреляции и качественная оценка связи с помощью

Таблица 1

Оценка связи между показателями качества процесса регулирования при изменении параметров регулятора с аппроксимирующим законом управления

№ п/п	Показатели качества процесса регулирования	Значение коэффициента корреляции R_{ij} ($i = 6, j = 6$)	Расчётное значение t -критерия Стьюдента	Табличное значение t -критерия Стьюдента
1	Время нарастания	$R_{11} = 0,9908$	20,746	2,306
2	Максимальное динамическое отклонение	$R_{22} = 0,7633$	3,342	
3	Перерегулирование	$R_{33} = 0,9432$	8,033	
4	Степень затухания	$R_{44} = 0,6897$	2,694	
5	Время переходного процесса	$R_{55} = 0,8073$	3,869	
6	Статическая ошибка	$R_{66} = 0,9866$	17,104	

шкалы Чеддока не позволяют оценить силу влияния параметров регулятора на показатели качества. При этом затрудняется выбор необходимого и достаточного числа показателей, характеризующих свойства исследуемой системы в переходном и установившемся режимах. Цель параметрического анализа чувствительности — оценка влияния параметров РАУ на показатели качества регулирования и выбор наиболее значимых параметров регулятора для переходного и установившегося режимов. Для достижения поставленной цели ставится задача: попытаться с помощью коэффициентов чувствительности показателей к параметрам настройки регулятора выявить наиболее значимые параметры регулятора, оказывающие влияние на качество двухрежимной системы управления. Оценивать чувствительность можно как по абсолютным, так и по относительным показателям [5, 6].

Анализ чувствительности влияния параметров РАУ на показатели качества регулирования. Для оценки влияния на показатели качества параметров РАУ в задаче управления в разных режимах системы рассчитаны коэффициенты абсолютной и относительной чувствительности. В качестве абсолютного и относительного показателя их чувствительности к изменению настроечных параметров регулятора воспользуемся отношением относительного приращения показателя к относительному приращению параметра. Абсолютную чувствительность определяли по формуле $S_a = \Delta y / \Delta x$, относительную чувствительность — по формуле $S_o = \Delta y / (\Delta x / x)$, где Δy — изменение показателя качества; Δx — изменение настройки; x — номинальное значение настройки [5].

Результаты оценки чувствительности показателей качества регулирования к изменениям параметров регулятора для переходного и установившегося режимов приведены в табл. 2 и 3. Учитывая нелинейный характер графических зависимостей, кроме оценки чувствительности в точке, соответствующей максимальной скорости изменения показателя (индекс 1), на графиках для оценки чувствительности были взяты ещё две точки (индексы 2 и 3), соответствующие меньшей скорости изменения показателя.

На рис. 4 представлены графики чувствительности показателей к изменениям M и λ , по которым определены максимальное и минимальное значения чувствительности. Рассчитанные значения этих отношений для исследуемых интервалов изменения параметров

приведены в табл. 4 и характеризуют степень влияния варьируемого параметра регулятора на качество системы. Чем выше это отношение, тем сильнее влияние параметра.

Из табл. 4 следует, что отношение максимального и минимального значений коэффициента относительной чувствительности при варьировании M для времени нарастания в 17,8, 19 и 9,2 раза превышает это отношение для максимального отклонения, статической

Таблица 2

Коэффициенты чувствительности времени нарастания и максимального отклонения к изменению параметров регулятора M и λ в переходном режиме

Коэффициенты абсолютной чувствительности для времени нарастания					
$S_{a1} = \frac{\Delta T_n}{\Delta M} / M = 2, 4, 7$			$S_{a2} = \frac{\Delta T_n}{\Delta \lambda} / \lambda = 2, 6, 14$		
$M_1 = 2$	$M_2 = 4$	$M_3 = 7$	$\lambda_1 = 2$	$\lambda_2 = 6$	$\lambda_3 = 14$
6,3	2,64	0,075	2,8	1,036	0,117
Усреднённое значение $\bar{S}_{a1} = 3,2717$			Усреднённое значение $\bar{S}_{a2} = 1,3177$		
Коэффициенты относительной чувствительности для времени нарастания					
$S_{o1} = \frac{\Delta T_n}{\Delta M / M_n} / M = 2, 4, 7$			$S_{o2} = \frac{\Delta T_n}{\Delta \lambda / \lambda_n} / \lambda = 2, 6, 14$		
$M_1 = 2$	$M_2 = 4$	$M_3 = 7$	$\lambda_1 = 2$	$\lambda_2 = 6$	$\lambda_3 = 14$
3,15	0,66	0,125	1,4	0,1726	0,0084
Усреднённое значение $\bar{S}_{o1} = 1,3117$			Усреднённое значение $\bar{S}_{o2} = 0,527$		
Коэффициенты абсолютной чувствительности для максимального отклонения					
$S_{a3} = \frac{\Delta A_{\max}}{\Delta M} / M = 0,5; 4,5$			$S_{a4} = \frac{\Delta A_{\max}}{\Delta \lambda} / \lambda = 2, 6, 14$		
$M_1 = 0,5$	$M_2 = 4$	$M_3 = 5$	$\lambda_1 = 2$	$\lambda_2 = 6$	$\lambda_3 = 14$
0,11	0,035	0,032	0,06	0,025	0,014
Усреднённое значение $\bar{S}_{a3} = 0,059$			Усреднённое значение $\bar{S}_{a4} = 0,033$		
Коэффициенты относительной чувствительности для максимального отклонения					
$S_{o3} = \frac{\Delta A_{\max}}{\Delta M / M_n} / M = 0,5; 4,5$			$S_{o4} = \frac{\Delta A_{\max}}{\Delta \lambda / \lambda_n} / \lambda = 2, 6, 14$		
$M_1 = 0,5$	$M_2 = 4$	$M_3 = 5$	$\lambda_1 = 2$	$\lambda_2 = 6$	$\lambda_3 = 14$
0,22	0,00875	0,0064	0,06	0,0125	0,0023
Усреднённое значение $\bar{S}_{o3} = 0,0784$			Усреднённое значение $\bar{S}_{o4} = 0,0249$		

Таблица 3

**Коэффициенты чувствительности
статической ошибки и степени затухания
к изменению параметров регулятора M и λ
в установившемся режиме**

Коэффициенты абсолютной чувствительности для статической ошибки					
$S_{a1} = \frac{\Delta\delta}{\Delta M} / M = 2, 4, 7$			$S_{a2} = \frac{\Delta\delta}{\Delta\lambda} / \lambda = 1, 4, 6$		
$M_1 = 2$	$M_2 = 4$	$M_3 = 7$	$\lambda_1 = 1$	$\lambda_2 = 4$	$\lambda_3 = 6$
0,0625	0,03	0,01	0,1045	0,015	0,0043
Усреднённое значение $\bar{S}_{a1} = 0,0342$			Усреднённое значение $\bar{S}_{a2} = 0,0413$		
Коэффициенты относительной чувствительности для статической ошибки					
$S_{o1} = \frac{\Delta\delta}{\Delta M / M_n} / M = 2, 4, 7$			$S_{o2} = \frac{\Delta\delta}{\Delta\lambda / \lambda_n} / \lambda = 1, 4, 6$		
$M_1 = 2$	$M_2 = 4$	$M_3 = 7$	$\lambda_1 = 1$	$\lambda_2 = 4$	$\lambda_3 = 6$
0,03125	0,0075	0,001428	0,0261	0,00375	0,001075
Усреднённое значение $\bar{S}_{o1} = 0,0134$			Усреднённое значение $\bar{S}_{o2} = 0,0103$		
Коэффициенты абсолютной чувствительности для степени затухания					
$S_{a3} = \frac{\Delta\psi}{\Delta M} / M = 2, 4, 7$			$S_{a4} = \frac{\Delta\psi}{\Delta\lambda} / \lambda = 1, 4, 6$		
$M_1 = 2$	$M_2 = 4$	$M_3 = 7$	$\lambda_1 = 1$	$\lambda_2 = 4$	$\lambda_3 = 6$
0,06	0,055	0,0066	0,07	0,015	0,0083
Усреднённое значение $\bar{S}_{a3} = 0,0225$			Усреднённое значение $\bar{S}_{a4} = 0,0311$		
Коэффициенты относительной чувствительности для степени затухания					
$S_{o3} = \frac{\Delta\psi}{\Delta M / M_n} / M = 2, 4, 7$			$S_{o4} = \frac{\Delta\psi}{\Delta\lambda / \lambda_n} / \lambda = 1, 4, 6$		
$M_1 = 2$	$M_2 = 4$	$M_3 = 7$	$\lambda_1 = 1$	$\lambda_2 = 4$	$\lambda_3 = 6$
0,03	0,01375	0,00094	0,07	0,000375	0,00138
Усреднённое значение $\bar{S}_{o3} = 0,0149$			Усреднённое значение $\bar{S}_{o4} = 0,0239$		

ошибки и степени затухания соответственно. Отношение коэффициентов абсолютной чувствительности для времени нарастания в 1,5 раза превышает это отношение только для статической ошибки, оставаясь практически на одном уровне для других показателей. При варьировании λ отношение коэффициентов относительной чувствительности для времени нарастания в 6,39, 6,41 и 3,57 раза превышает это отношение для максимального

Таблица 4

Значения отношений коэффициентов чувствительности

Показатель	Отношение коэффициентов чувствительности			
	$S_{o\max}/S_{o\min}$	$S_{a\max}/S_{a\min}$	$S_{o\max}/S_{o\min}$	$S_{a\max}/S_{a\min}$
	при варьировании M		при варьировании λ	
Время нарастания	78,75	32,5	23,9	166,7
Максимальное отклонение	4,41	34,3	166,7	26,1
Статическая ошибка	4,13	21,9	24,3	26,0
Степень затухания	8,57	31,9	8,4	46,7

отклонения, статической ошибки и степени затухания соответственно. Из этого следует, что чем больше диапазон изменения коэффициента чувствительности при изменении исследуемого выбранного параметра настройки в определённых пределах, тем труднее установить однозначную зависимость между показателями качества и значениями параметров настройки, при которых показатель качества остаётся близким к номинальной величине. Однако можно считать, что чем больше отношение максимальной чувствительности к минимальной, тем очевиднее необходимость в коррекции данного параметра настройки регулятора для обеспечения близости показателя качества к номинальному.

Для наглядности иерархическое распределение показателей качества по мере убывания отношения чувствительностей представлено на рис. 5 и 6.

Диаграммы наглядно подтверждают, что исследуемые в ходе проведённого анализа показатели имеют максимальные значения отношений чувствительности: в данном случае это время нарастания, максимальное отклонение, степень затухания и статическая ошибка. С учётом этого может быть записана информационная модель, показывающая абсолютную чувствительность показателей качества (АЧПК) к параметрам регулятора. Например, для изменения параметра M модель имеет вид

$$= \text{АЧПК}/_{(\text{при } M - \text{var}, \lambda - \text{const})} = 78,75T_n + 8,57\psi + 4,41A_{\max} + 4,13\Delta_{\text{ст}}$$

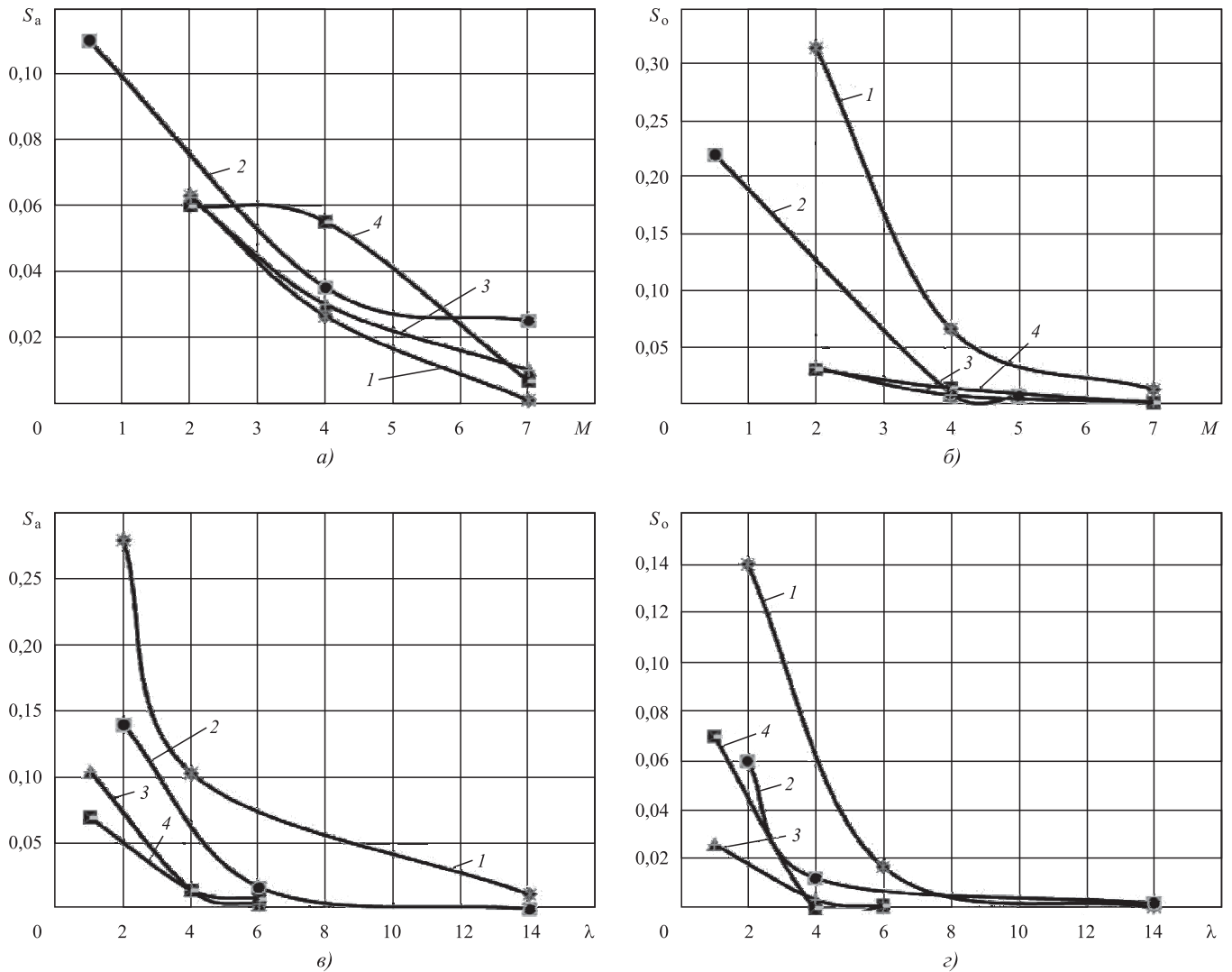


Рис. 4. Графики абсолютной (а, в) и относительной (б, г) чувствительностей показателей к изменениям M (а, б) и λ (в, г)

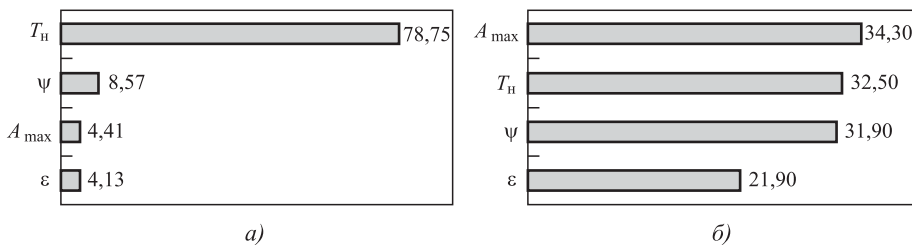


Рис. 5. Оценка отношения абсолютной (а) и относительной (б) чувствительностей при варьировании M

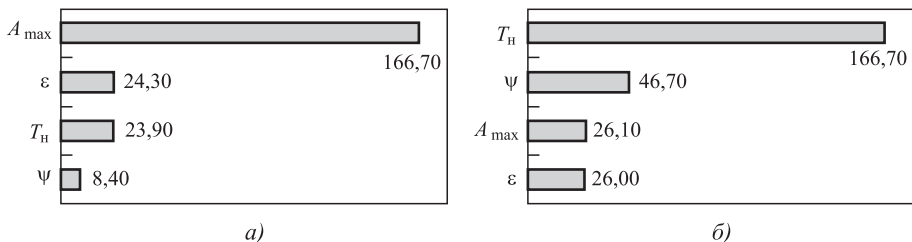


Рис. 6. Оценка отношения абсолютной (а) и относительной (б) чувствительностей при варьировании λ

Результаты исследования. Полученные результаты графического анализа чувствительности показателей качества к изменению параметров регулятора позволяют отметить следующее. Из усреднённых значений коэффициентов чувствительности видно, что показатели качества в переходном режиме наиболее чувствительны к изменению M . Показатели качества в установившемся режиме наиболее чувствительны к изменению λ . При некоторых значениях коэффициентов относительной чувствительности, например, при

$S_{01} = 0,0134$ и $S_{02} = 0,0103$, рассчитанных в точках $M = 7$ и $\lambda = 6$, можно считать, что настройки имеют практически одинаковое влияние на статическую ошибку.

Учитывая результаты анализа отношений максимальной чувствительности к минимальной, не исключается вариант настройки системы для переходного режима с использованием коэффициентов M и λ , и достаточности использования для режима стабилизации коррекции одного из коэффициентов, например λ . Задача синтеза алгоритма управления системы может быть решена на основе компьютерного моделирования.

Заключение. Таким образом, анализ чувствительности показателей качества регулирования позволяет оценить влияние изменения параметров РАУ системы на показатели качества регулирования. Это даёт возможность более эффективно настраивать регулятор с учётом режимов функционирования системы и вести оптимальную отработку задающего воздействия при программном управлении, в supervisory режиме и в режиме стабилизации.

Установлено, что требуемые свойства системы в различных режимах и, в первую очередь, для переходного и установившегося режимов работы АСР, требуют различных коэффициентов настроек M и λ исследуемого регулятора, т. е. коэффициенты настроек регулятора должны быть переключаемыми в зависимости от режима работы системы.

Учитывая тесную связь между зависимостями для показателей качества и нелинейный характер зависимостей для коэффициентов чувствительности при изменении параметров настроек регулятора, установить однозначную зависимость между показателями качества и настройками затруднительно. Чем больше отношение максимальных и минимальных коэффициентов чувствительности к возможному диапазону вариации параметров настроек, тем сложнее выявить параметры, оказывающие

наибольшее влияние на качество системы, функционирующей в различных режимах, и сформировать наиболее эффективные пути изменения параметров алгоритма управления для улучшения свойств системы. В этих условиях анализ параметрической чувствительности — необходимый этап разработки много-режимных систем управления действующих производств.

Библиографические ссылки

1. Лубенцова Е.В., Пиотровский Д.Л., Масютина Г.В., Лубенцов В.Ф. Анализ показателей качества САУ с нелинейным аппроксимирующим законом управления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 129(05). С. 1224—1234. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/87.pdf> (дата обращения: 11.12.2020).
2. Корреляционный анализ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://poznayka.org/s65579t1.html> (дата обращения: 12.12.2020).
3. Рассел Д. Т-критерий Стьюдента: моногр. М.: VSD, 2013. 741 с.
4. Медик В.А., Токмачев М.С., Фишман Б.Б. Статистика в медицине и биологии: руководство. В 2 т. / под ред. Ю.М. Комарова. Т. 1. Теоретическая статистика. М.: Медицина, 2000. 412 с.
5. Лубенцов В.Ф. Практический математико-статистический анализ биотехнологических систем. Ставрополь: Изд-во Сев.-Кав. ГТУ, 2000. 111 с.
6. Бирюков А.Н. Анализ чувствительности показателей эффективности инвестиционных проектов на основе динамических методов // Вестник УрФУ. Сер.: Экономика и управление. 2017. Т. 16. № 6. С. 954—968.

Ссылка для цитирования

Шахрай Е.А., Лубенцова Е.В., Лубенцов В.Ф. Анализ чувствительности влияния параметров регулятора с аппроксимирующим управлением на показатели качества регулирования // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 8. С. 377—383. DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-8-377-383.

Уважаемые читатели!

Редакция предлагает руководителям организаций, ищущих новые рынки для реализации своей продукции, услуги по размещению рекламы и объявлений.

Цены за публикацию умеренные.

**ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ**

Исследование характеристик плоских шлифовальных кругов для высокоскоростной обработки на основе численного моделирования. *Вестник машиностроения.* 2021. № 4.

Численным моделированием исследованы плоские шлифовальные круги двух типов с разными диаметрами в целях установления рационального типоразмера инструмента для высокоскоростной обработки. Определены критические частоты вращения шлифовальных кругов. Получены поля максимальных напряжений и пластических деформаций. С учётом требуемой точности обработки определены оптимальные скоростные режимы.

Технологическое обеспечение трещиностойкости пластин из карбида кремния при алмазно-абразивной обработке. *Вестник машиностроения.* 2021. № 4.

Предложена методика назначения режимов алмазно-абразивной обработки, обеспечивающих требуемую скорость съёма материала и трещиностойкость карбидокремниевых пластин с учётом напряжений, возникающих при изготовлении изделия из рассматриваемых керамических компонентов, для снижения брака при производстве полупроводниковых приборов.

Оптимизация режима работы гидравлического пресса с двухступенчатым насосным приводом. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2021. Т. 19. № 4.

Рассмотрена оптимизация режима работы двухступенчатого привода гидравлического пресса для снижения затрат энергии. Выбор времени переключения с первой ступени на вторую позволил сократить затраты энергии на выполнение технологической операции на 24 %.

Перспективные алюминиевые сплавы для паяных конструкций авиационной техники. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2021. Т. 19. № 4.

Проведён обзор научно-технической литературы в области применения алюминиевых сплавов для паяных конструкций теплообменных аппаратов авиационной техники, изготавливаемых методом высокотемпературной вакуумной пайки. Приведены перспективные разработки отечественных алюминиевых сплавов для применения в качестве материала основы плакированных листов для паяных соединений. Описаны возможности повышения коррозионной стойкости теплопередающих поверхностей теплообменников. Рассмотрены перспективы применения аддитивных технологий для изготовления теплообменников из алюминиевых сплавов.

Исследование формирования микрогеометрии поверхности трения износостойкого покрытия при трении с металлическим контртелом. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2021. Т. 17. № 4.

Исследованы поверхности трения износостойких покрытий с модифицирующими добавками Al_2O_3 и металлического контртела из стали ШХ15, а также выявлены факторы, влияющие на формирование микрогеометрии поверхности покрытия при трении скольжения. Разработана статистическая модель на основе биномиального распределения удалённых частиц износа для описания фрикционного взаимодействия при трении покрытия с металлическим контртелом.

Методика определения адгезионной прочности полимерных самотвердеющих композиционных материалов и клеевых соединений. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2021. Т. 17. № 4.

Разработанная техника определения адгезионной прочности позволяет исследовать как клеуполимерные композиты, так и клеевые соединения на одном и том же приспособлении без влияния момента разрушающей силы на получаемые результаты.

Влияние технологических факторов на точность сборки на примере цилиндрического двухступенчатого соосного редуктора 4МЦ2С-80. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2021. Т. 22. № 4.

Рассмотрено влияние технологических факторов на точность сборки цилиндрического двухступенчатого соосного редуктора.

Оценка влияния эволюции показателей динамичности червячного зацепления на параметры технического состояния в процессе эксплуатации. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2021. Т. 22. № 4.

Представлены зависимости интенсивности изнашивания и коэффициента динамичности от нагрузки при использовании плёнообразующих смазочных материалов. На основе регрессионного анализа получен закон распределения скорости изнашивания зубьев червячного колеса. Приведён расчёт ресурса червячной передачи по критерию предельного износа с учётом изменения зависимости интенсивности изнашивания и скорости роста коэффициента динамичности от нагрузки.

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 31.05.2021.

Подписано в печать 23.07.2021.

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 «Авансед 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
