

Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-корр. 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 «НПЦАП
им. Н.А. Пилюгина»
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Проталинский О.М. — д.т.н., проф., НИУ МЭИ
Путилов В.Н. — ООО «Изд-во "Инновационное
машиностроение"» (заместитель
главного редактора)
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во
"Инновационное машиностроение"»
Ся Юаньцин — д.т.н., проф., Пекинский
политехн. ун-т (КНР)
Фу Ли — д.т.н., проф., Ин-т Бейхан (КНР)
Фёдоров И.Б. — д.т.н., проф., академик РАН,
президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т
науки и технологии (КНР)
Чистякова Т.Б. — д.т.н., проф., СПбГТИ (ТУ)
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

1
2021

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Григорьев С.Н., Леонов А.А., Долгов В.А.** Имитационное
моделирование производственных процессов с приме-
нением логик планового и ситуационного резервирования ра-
бочих мест 3
- Золкин А.Л., Василенко К.А., Тормозов В.С., Скибин Ю.В.**
Использование прикладной программно-информационной
системы в среде разработки Delphi для диагностирования
состояния тяговых электродвигателей 11
- Амелькина С.А., Дупленкова К.А., Микаева С.А.** Разра-
ботка энергоэффективных проектов освещения с использо-
ванием автоматизированного проектирования 16
- Лобусов Е.С., Юнесс С.** Исследование функционирования
сетевой полуактивной системы демпфирования колёсной
машины 21
- Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Проко-
пец В.С., Высоцкая И.А.** Экспериментальное исследова-
ние методов автоматизированного проектирования трассы
лесовозной автомобильной дороги 29

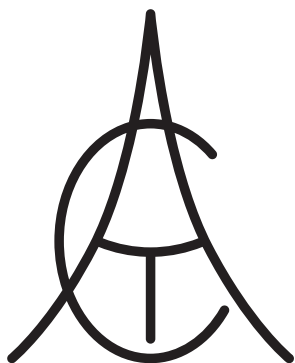
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Пименова М.Б., Парфентьев К.В.** Обнаружение движу-
щихся объектов в кадре по методу вычисления оптического
потока Лукаса — Канаде 34
- Пириева Н.М.** Возвращение альтернативной энергии от го-
родского транспортного средства 39

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Хоанг К.К., Авксентева Е.Ю., Федосов Ю.В., Нгуен В.Т.**
Адаптивное обучение автоматизированному проектирова-
нию печатных плат судовых интегрированных систем управ-
ления 44

© Издательство «Инновационное машиностроение»,
«Автоматизация. Современные технологии», 2021



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 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 $\frac{1}{2021}$

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

- Grigorev S.N., Leonov A.A., Dolgov V.A.** Imitation modeling of
production processes by using the planned and situational logic of
the workplaces reservation 3
- Zolkin A.L., Vasilenko K.A., Tormozov V.S., Skibin Yu.V.**
Application of the applied software and information system in the
Delphi development environment for diagnosing the state of trac-
tion motors 11
- Amelkina S.A., Duplenkova K.A., Mikaeva S.A.** Development of
energy efficient lighting projects using computer-aided design . . 16
- Lobusov E.S., Yuness S.** The functioning investigation of the net-
work semi-active damping system for wheeled vehicle 21
- Chirkov E.V., Skrypnikov A.V., Borovlev A.O., Prokopets V.S.,
Vysotskaya I.A.** Experimental study of methods for automated
design of the route of a timber-carrying road 29

MODERN TECHNOLOGIES

- Pimenova M.B., Parfentev K.V.** Detection of moving objects
in the frame by calculation method of the Lucas — Kanade optical
flow 34
- Pirieva N.M.** Returning alternative energy from a city vehicle . . 39

SYSTEMS AND CONTROL DEVICES

- Khoang K.K., Avksenteva E.Yu., Fedosov Yu.V., Nguen V.T.**
Adaptive training in computer-aided designing of printed circuit
boards of ship integrated control systems 44

© «Innovative Mashinostroenie» Publishers,
«Automation. Modern technologies», 2021



С.Н. Григорьев, д-р техн. наук, проф., **А.А. Леонов**
(Московский государственный технологический университет «МГТУ «Станкин»),
В.А. Долгов, д-р техн. наук, доц.
(ООО «Фабрика цифровых систем»)

leocan@mail.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОГИК ПЛАНОВОГО И СИТУАЦИОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РАБОЧИХ МЕСТ

Предложена логика задания приоритетов резервирования рабочих мест при моделировании операций изготовления партии машинокомплектов деталей. Рассмотрены примеры комбинированного резервирования рабочих мест при изготовлении партий деталей с различными технологическими циклами. Показано, что комплексное применение ситуационной логики и логики планового резервирования рабочих мест при имитационном моделировании производственных процессов позволит существенно повысить адекватность моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование; производственный процесс; адекватность; логика маршрутизации.

The logic of priorities assignment for workplaces reservation when simulating the manufacturing operations of a batch of machine parts sets is proposed. Examples of combined redundancy of the workplaces in the manufacture of the parts batches with different technological cycles are considered. It is shown that the complex application of situational logic and the logic of the workplaces planned reservation at the imitation modeling of production processes will significantly increase the adequacy of modeling.

Keywords: imitation modeling; production process; adequacy; routing logic.

Постановка задачи. Имитационное моделирование хорошо себя зарекомендовало при моделировании поточных производственных процессов в машиностроении, а также при построении цифровых двойников машиностроительных предприятий [1–4].

В настоящее время методы имитационного моделирования развиваются и начинают применяться на многономенклатурных серийных машиностроительных предприятиях. Однако адекватность результатов имитационного моделирования многономенклатурных предприятий всё ещё остаётся недостаточно высокой [5–8]. Одной из основных причин является использование при моделировании производственных процессов многономенклатурных предприятий традиционной логики маршрутизации материальных потоков, применяемой при моделировании поточного производства.

При имитационном моделировании маршрутизация материального потока осуществляется в соответствии с заданной логикой

и с учётом текущей моделируемой производственной ситуации. Логика маршрутизации материального потока задаёт:

правила прохождения материального потока через рабочие места, на которых осуществляется его преобразование;

правила определения очередности использования следующего рабочего места для очереди технологических операций.

Особенностью логики маршрутизации является отработка правил в конкретной точке принятия решения на временном интервале. При этом рабочее место и точное время выполнения следующей технологической операции обработки заданной номенклатурной позиции неизвестны. Поэтому такую логику можно считать ситуационной.

Ситуационная логика маршрутизации содержит типовые и специальные правила. Типовые правила входят в состав библиотек многих систем имитационного моделирования. К ним относятся LIFO (Last In First Out), FIFO (First In First Out) и др.

Специальные правила учитывают особенности производственных процессов и разрабатываются для каждого отдельного проекта [9—14].

Рассмотрим работу ситуационной логики при моделировании изготовления машинокомплектов изделия А.

Изделие А состоит из следующих компонентов: деталь 1 (Д1) в количестве 1 шт.; деталь 2 (Д2) в количестве 2 шт.; деталь 3 (Д3) в количестве 2 шт. Производственная программа изделия А — 100 шт. Изделие А изготавливается партиями по 25 шт. Комплектуемые детали имеют следующий технологический маршрут изготовления. Заготовки поступают с заготовительного участка. Затем обрабатываются резанием на участке № 1, после чего поступают на термическую обработку, осуществляемую на участке № 2 — рабочее место (РМ) СОМ. Термическая обработка проводится для группы заготовок. После термической обработки заготовки поступают на участок № 3 для обработки резанием.

Технологические операции обработки заготовок на участке № 3 включают альтернативные рабочие места (рис. 1). Каждое рабочее место имеет входной [IN] и выходной [OUT] накопительные буферы.

Технологический маршрут изготовления Д3 состоит из двух операций, выполняемых на участках № 1 и № 3.

Технологические маршруты деталей Д1 и Д2 состоят из трёх технологических операций (см. рис. 1). Детали Д1 и Д2 подвергаются термической обработке на РМ СОМ. На РМ СОМ (участок № 2) обработка заготовок ведётся группами: Д1 — не более 5 шт., Д2 — не более 10 шт.

Ситуационная логика может задаваться большим числом правил и их сочетаний. Выбор наиболее рационального сочетания правил во многом определяется типом производства, особенностями производственных процессов, а также квалификацией исполнителей.

В рассматриваемом примере были определены следующие логические правила:

FIFO;

приоритет имеет партия с наименьшим циклом обработки.

Эти правила не учитывают задание приоритетов при изготовлении партий деталей, входящих в одну партию машинокомплекта.

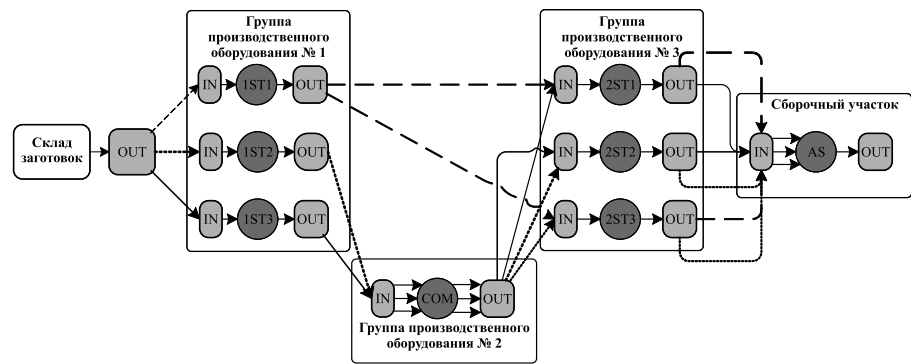


Рис. 1. Схема материальных потоков при изготовлении изделия А:
— Д1; Д2; - - - Д3; 1ST1...1ST3, 2ST1...2ST3, AS — рабочие места (станки)

Для удобства обозначения партий деталей на циклограммах введём обозначения X, YZ, где X — номер партии, YZ — номер детали (Дi). Например, запись «1,Д2» означает: первая партия детали № 2.

В результате применения указанной ситуационной логики при имитационном моделировании формируется циклограмма резервирования рабочих мест для изготовления партий деталей (рис. 2). При резервировании определяются производственные циклы обработки четырёх партий машинокомплектов (Пц(1мк), Пц(2мк), Пц(3мк) и Пц(4мк)) с учётом времени их перемещения между рабочими местами. Длительность резервирования РМ и значения производственных циклов указываются в условных единицах (усл. ед.) времени t .

Заданная ситуационная логика привела к плотной загрузке рабочих мест. При этом детали из следующей партии машинокомплектов обрабатывались ранее деталей из предыдущей партии. Например, партия «2,Д3» была обработана ранее, чем «1,Д1». Это приводит к увеличению производственных циклов изготовле-

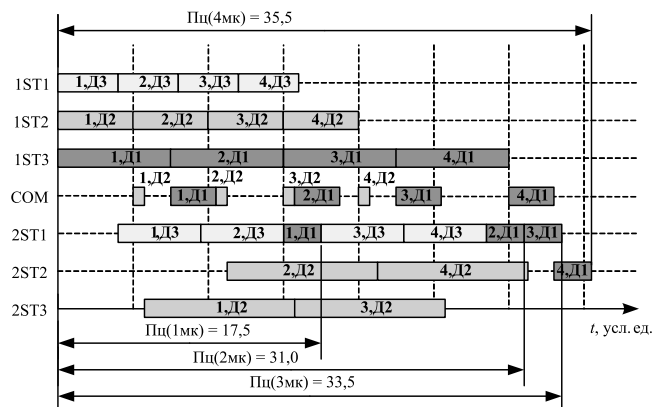


Рис. 2. Циклограмма использования рабочих мест при изготовлении партий машинокомплектов изделия А, сформированная на основе ситуационной логики

ния партий машинокомплектов, а также объёмов незавершённого производства.

Производственный цикл изготовления первой партии машинокомплектов Пц(1мк) увеличивается за счёт обработки партии «2,Д3». Аналогично увеличиваются производственные циклы изготовления второй и третьей партий машинокомплектов Пц(2мк) и Пц(3мк).

Ситуационная логика маршрутизации не позволяет задавать правила маршрутизации материального потока на значительном горизонте моделирования, что является важным условием при моделировании непоточного многономенклатурного производства.

К минусам ситуационной логики можно отнести:

отсутствие возможности задания приоритетов резервирования рабочих мест для выполнения операций технологического процесса изготовления деталей или сборочных единиц, технологический цикл изготовления которых лежит на критическом пути и определяет длительность изготовления изделий более высокого уровня;

отсутствие возможности резервировать рабочие места для изготовления партий деталей, лежащих на критическом пути изготовления сборочной единицы.

Использование только ситуационной логики маршрутизации материального потока при моделировании непоточных производственных систем не позволяет учитывать приоритетность изготовления изделий. Это приводит к получению недостаточно адекватных результатов моделирования.

Комбинированное использование ситуационной логики и логики приоритизации материального потока в более длительной перспективе может значительно повысить адекватность моделирования непоточных производственных систем.

Недостаточно развитое методическое обеспечение моделирования производственных процессов многономенклатурных машиностроительных предприятий в части совместного использования ситуационной логики и логики задания приоритетов резервирования рабочих мест на длительном горизонте моделирования не позволяет адекватно моделировать процессы изготовления партий деталей, имеющих различные технологические циклы.

Одной из задач, возникающих при разработке имитационных моделей процессов изготовления сборочных единиц, является разработка логики определения рабочих мест

при маршрутизации материальных потоков для изготовления партий деталей, входящих в один машинокомплект. Для решения этой задачи предложен метод совместного использования ситуационной логики и логики задания приоритетов при изготовлении партий деталей, входящих в один машинокомплект.

Рассмотрим пример совместного использования ситуационной логики и логики планового резервирования рабочих мест при изготовлении машинокомплекта деталей, имеющих различные технологические циклы. В заданных условиях минимизация производственного цикла изготовления изделия А возможна при использовании логики планового резервирования рабочих мест для выполнения операций изготовления партий Д2. Рассмотрим производственные циклы изготовления машинокомплектов изделия А, используя две стратегии совместного применения логик.

Стратегия № 1. Плановое резервирование рабочих мест для детали, имеющей наибольший технологический цикл, в интервале изготовления всей программы выпуска. Определение рабочих мест для изготовления остальных деталей осуществляется на основе ситуационной логики.

Стратегия № 2. Плановое резервирование рабочих мест для изготовления первой партии детали, имеющей наибольший технологический цикл. Для изготовления остальных партий этой и других деталей рабочие места определяются согласно ситуационной логике маршрутизации с последующим резервированием рабочих мест для изготовления партий деталей, не выдерживающих временной интервал критического пути.

Применение стратегии планового резервирования рабочих мест. В обозначение партий деталей добавим обозначение применяемой логики: X, YZ, AB, где AB — применяемая логика: СЛ (ситуационная логика) или ПР (плановое резервирование).

При старте имитационной модели рабочие места резервируются для изготовления партии детали, имеющей наибольший технологический цикл изготовления первой партии.

Значения технологических циклов изготовления первой партии деталей, входящих в машинокомплект изделия А, приведены в табл. 1.

Наибольший цикл изготовления имеет деталь Д2. Технологический цикл изготовления первой партии детали Д2 $T_{ц}(1,Д2) = 15,75$ усл. ед., а производственный цикл изготовления всех четырёх партий $P_{ц}(4,Д2) = 30,75$ усл. ед. (рис. 3).

Таблица 1
Значения технологических циклов изготовления первой партии деталей

Обозначение детали	Технологический цикл изготовления первой партии, усл. ед.
Д1	$7,5 + 3 + 2,5 = 13$
Д2	$5 + 0,75 + 10 = 15,75$
Д3	$4 + 5,5 = 9,5$

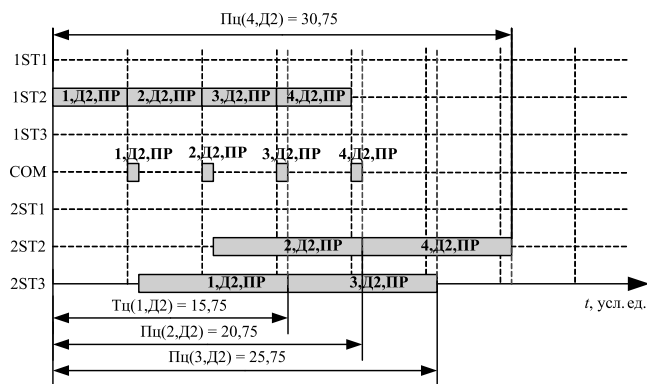


Рис. 3. Циклограмма определения рабочих мест при изготовлении партий детали Д2

Дополним циклограмму операциями изготовления всех четырёх партий деталей Д1 и Д3, которые выполняются на рабочих местах 1ST1, 1ST3 и COM (рис. 4).

На циклограмме показано, что ситуационная логика пробует резервировать РМ COM для обработки «1,Д1,СЛ». Проверка такой возможности показывает, что обработка первой партии детали Д1 на РМ COM не успеет выполняться до планового начала обработки второй партии детали Д2. Поэтому обработка «1,Д1,СЛ» начнётся после того как РМ COM выполнит обработку «2,Д2,ПР». До начала обработки «2,Д2,ПР» РМ COM будет находиться в состоянии вынужденного простоя. Одновременная обработка партий заготовок Д1 и Д2 на рабочем месте COM невозможна из-за разных технологических режимов. Партии обрабатываются целиком, разбиение партии на составные части не предусмотрено. Сокращение цикла изготовления всех пар-

тий Д2 привело к тому, что на критическом пути оказалась четвёртая партия Д1.

В соответствии с описанной логикой была построена циклограмма обработки четырёх партий всех деталей, входящих в машинокомплекты изделия А. Циклограмма приведена на рис. 5. Расчётный цикл производства машинокомплектов Пц(4мк) составил 35,5 усл. ед.

Совместное применение логики планового резервирования и ситуационной логики по стратегии № 1 привело к увеличению производственных циклов изготовления партий машинокомплектов изделия А по сравнению с расчётными значениями соответствующих циклов изготовления партий деталей Д2, которые имеют наибольший технологический цикл (см. рис. 3):

$$\Delta t(\text{Пц1}) = \text{Пц}(1\text{мк}) - \text{Тц}(1,Д2) = 16,25 - 15,75 = 1,0 \text{ усл. ед.};$$

$$\Delta t(\text{Пц2}) = \text{Пц}(2\text{мк}) - \text{Пц}(2,Д2) = 24,25 - 20,75 = 3,5 \text{ усл. ед.};$$

$$\Delta t(\text{Пц3}) = \text{Пц}(3\text{мк}) - \text{Пц}(3,Д2) = 32,25 - 25,75 = 6,5 \text{ усл. ед.};$$

$$\Delta t(\text{Пц4}) = \text{Пц}(4\text{мк}) - \text{Пц}(4,Д2) = 35,5 - 30,75 = 4,75 \text{ усл. ед.}$$

Разность Δt значений производственных циклов изготовления партий машинокомплектов и соответствующих значений циклов изготовления партий Д2 растёт для каждой последующей партии машинокомплектов. Таким образом, стратегия № 1 совместного применения

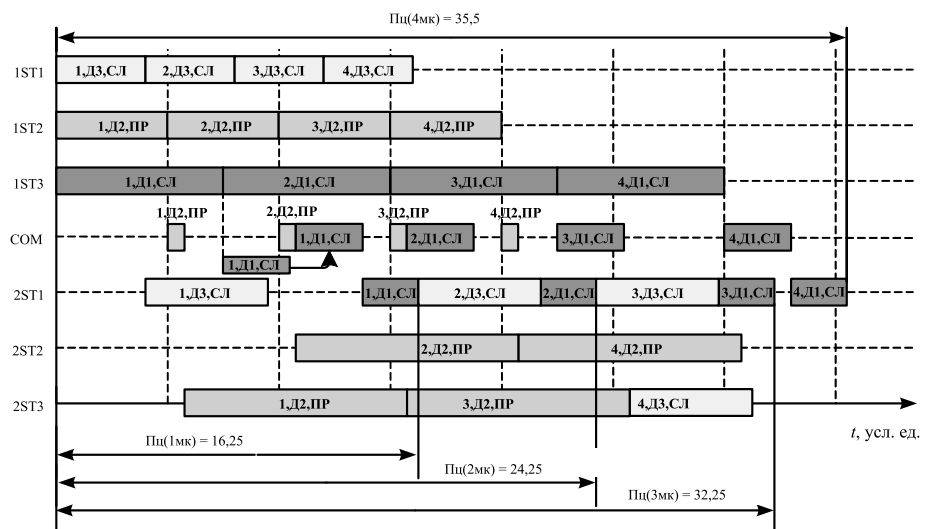


Рис. 4. Циклограмма определения рабочих мест при изготовлении партий изделия А

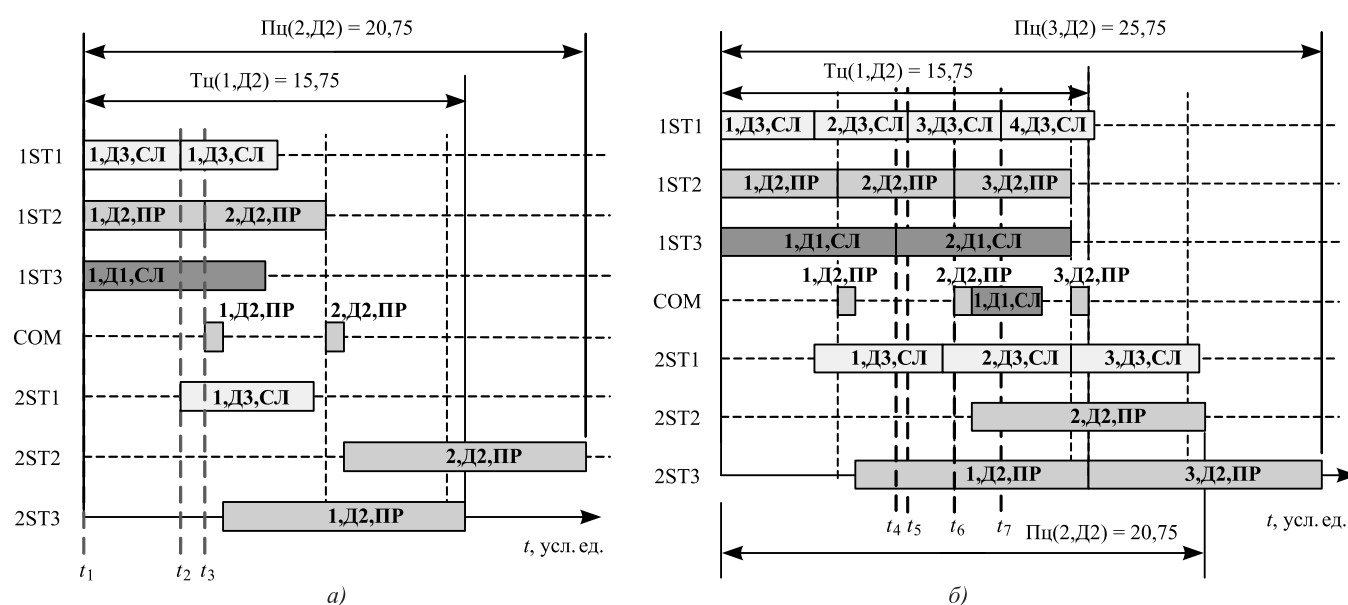


Рис. 5. Циклограммы рабочих мест:

а — шаг 1; б — шаг 2

логик приводит к неуправляемому возникновению новых критических путей изготовления машинокомплектов, превышающих базовый критический путь, но вместе с тем наблюдается уменьшение отдельных производственных циклов относительно циклов при применении только ситуационной логики.

Применение стратегии гибкого резервирования рабочих мест. Стратегия основана на плановом резервировании рабочих мест для изготовления первой партии детали, имеющей наибольший технологический цикл. Для изготовления остальных партий деталей, входящих в машинокомплект, рабочие места определяются согласно ситуационной логике маршрутизации, основанной на приоритетном резервировании рабочих мест для обработки партий заготовок, лежащих на критическом пути изготовления партии машинокомплектов.

Ситуационная логика учитывает следующие правила резервирования рабочих мест для выполнения последних операций обработки заготовок деталей, входящих в одну партию машинокомплекта:

среди операций, для которых не применяется плановое резервирование, наименьший приоритет имеет операция обработки той заготовки, обработка которой заканчивается на этом рабочем месте;

если начальный критический путь изготовления партии машинокомплектов превышен технологическим циклом партии другой детали, то партия этой детали становится при-

оритетной и для её изготовления резервируются рабочие места. Если время обработки ранее зарезервированной партии деталей ещё не наступило, то такой резерв рабочих мест для партии сдвигается на поздний срок; если начало резерва таких рабочих мест уже наступило, то резервирование для приоритетной партии деталей на этом рабочем месте наступит сразу же после окончания обработки текущей партии.

Рассмотрим логику маршрутизации материального потока при изготовлении комплектующих изделия А.

Состояния моделируемой технологической системы рассматриваются дискретно с шагом t_i . Временные отрезки сгруппированы по шагам и приведены на рис. 5...9.

Шаг 1. Выполняются следующие логические операции (см. рис. 5, а):

в момент времени t_1 резервируются РМ для изготовления первой партии детали Д2, имеющей наибольший технологический цикл, также производится резервирование рабочих мест для изготовления первых комплектов остальных деталей, входящих в первую партию машинокомплекта изделия А;

t_2 : резервирование и начало изготовления второго комплекта детали Д3;

t_3 : критический путь изготовления первой партии Д2 не превышен, следовательно, производится резервирование рабочего места для изготовления второго комплекта деталей Д2 и определяется время критического пути изготовления второй партии этих деталей.

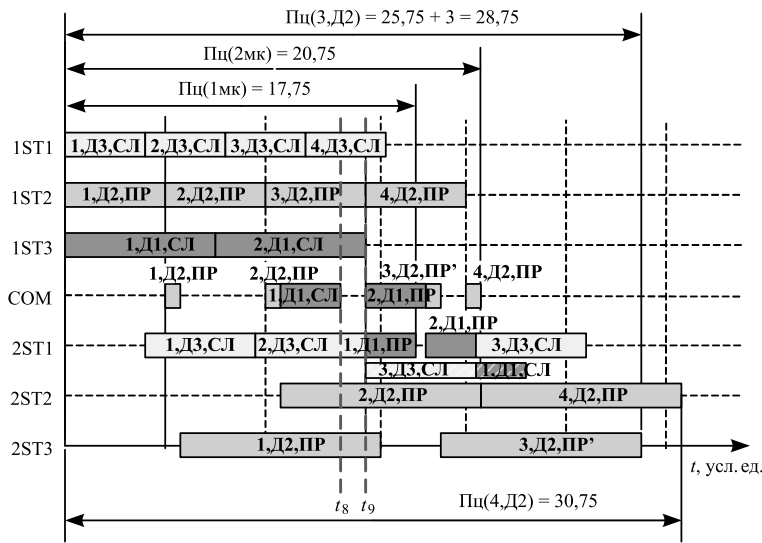


Рис. 6. Циклограмма резервирования рабочих мест, шаг 3

Шаг 2. Выполняются следующие логические операции (см. рис. 5, б):

t_4 : закончилась обработка первой партии Д1. Так как приоритетной осталась партия Д2, то резервирование рабочего места COM для обработки Д1 производится после обработки Д2, вхождение обрабатываемых заготовок в одну партию машинокомплекта не является приоритетным условием;

t_5 : закончилась обработка второй партии Д3 и для последующей обработки этих деталей резервируется РМ 2ST1;

t_6 : закончилась обработка второй партии Д2, изменения критического пути не произошло. Изготовление партий Д2 остаётся приоритетным;

t_7 : закончилась обработка третьей партии Д3. Для последующей обработки этих деталей резервируется РМ 2ST1.

Шаг 3. Выполняются следующие логические операции (рис. 6):

t_8 : закончилась обработка первой партии Д1 на участке COM. Заштрихованным прямоугольником обозначена партия деталей, для обработки которых резервирование РМ должно выполняться согласно ситуационной логике. С учётом того, что производственный цикл изготовления первой партии Д1 превышает цикл изготовления первой партии Д2, для последующей

обработки первой партии Д1 принудительно резервируется РМ 2ST1 сразу же после обработки «2,Д3,СЛ» (вторая партия Д3 уже обрабатывается). Принудительно резервируются РМ COM и 2ST1 для обработки второй партии деталей Д1;

t_9 : закончилась обработка третьей партии Д2. При анализе видно, что цикл обработки второй партии Д2 остался на критическом пути, поэтому РМ для обработки четвёртой партии Д2 резервируется согласно логике планового резервирования.

Шаг 4. Выполняются следующие логические операции (рис. 7):

t_{10} : закончилась обработка второй партии Д1 на РМ 1ST3. Это РМ резервируется для обработки третьей партии Д1;

t_{11} : закончилась обработка четвёртой партии Д3. В соответствии с ситуационной логикой для последующей обработки этой партии резервируется РМ 2ST1;

t_{12} : закончилась обработка третьей партии Д1 на РМ 2ST1. Это РМ резервируется для обработки четвёртой партии Д1. Согласно ситуационной логике для обработки третьей партии Д1 резервируется РМ COM;

t_{13} : закончилась обработка третьей партии Д1 на участке COM. Заштрихованным прямоугольником обозначена партия деталей, для обработки которых резервирование РМ подчиняется ситуационной логике. Так как критический путь превышен, то для Д1 на РМ 2ST1 принудительно резервируется место сразу за «3,Д3,СЛ». Резервируются РМ COM и 2ST1 для обработки третьей партии Д1;

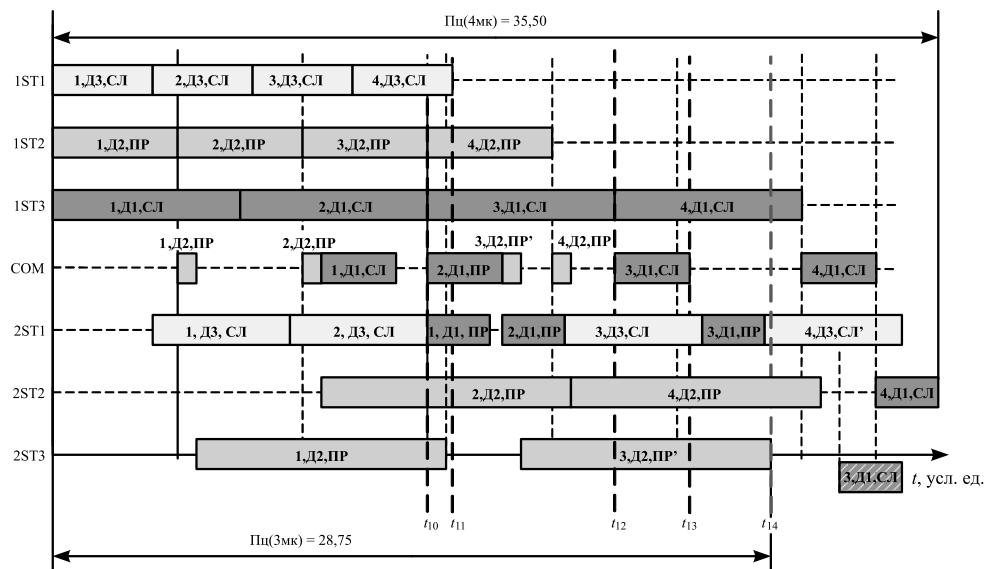


Рис. 7. Циклограмма резервирования рабочих мест, шаг 4

t_{14} : закончилась обработка третьей партии Д2. При анализе видно, что производственный цикл изготовления третьей партии Д2 остался на критическом пути, поэтому резервирование РМ для изготовления четвертой партии Д1 подчиняется ситуационной логике.

Получив значения производственных циклов изготовления машинокомплектов, заметим значительное отклонение $\text{Пц}(1\text{мк})$ от $\text{Тц}(1, \text{Д}2)$, которое вызвано отсутствием приоритизации для изготовления партий деталей в зависимости от номера партий машинокомплекта, изготавливаемого в текущий момент. Введём дополнительную логику для приоритизации резервирования:

в случае вынужденного ожидания предоставления резерва рабочего места из-за его

планового резервирования для другой операции определяется минимальный цикл выполнения пары этих операций в разных последовательностях. Если цикл выполнения этих операций будет меньше при изменении приоритета планового резервирования и раннем выполнении операции, имеющей низший приоритет, то операция с плановым резервом будет выполняться позже. В этом случае циклограмма примет вид, приведённый на рис. 8. Заштрихованным прямоугольником показано альтернативное РМ для обработки «4, Д3, СЛ».

Выводы. Результаты моделирования выполнения заданной программы, полученные при использовании ситуационной логики, а также совместного применения ситуационной логики и логики планового резервирования по двум стратегиям: жёсткого и гибкого резервирования РМ, представлены в табл. 2.

Резервирование рабочих мест на основании только ситуационной логики привело к формированию наибольших производственных циклов изготовления первых трёх партий машинокомплектов.

Длительность выполнения операций обработки заготовок деталей, входящих в различные партии машинокомплектов, перекрывает производственные циклы предыдущих машинокомплектов изделия А. Это приводит к увеличению производственных циклов изготовления партий изделия.

Стратегия планового резервирования рабочих мест жёстко фиксирует рабочие места на всём горизонте планирования и не позволяет управлять резервированием рабочих мест при изменении критических путей изготовления партий машинокомплектов. В рассмотренном примере совместное использование логики планового резервирования и ситуационной логики позволило получить лучшие результаты при резервировании рабочих мест для изготовления первых трёх партий машинокомплектов, чем при использовании только ситуационной логики.

Лучшие результаты показало совместное применение ситуаци-

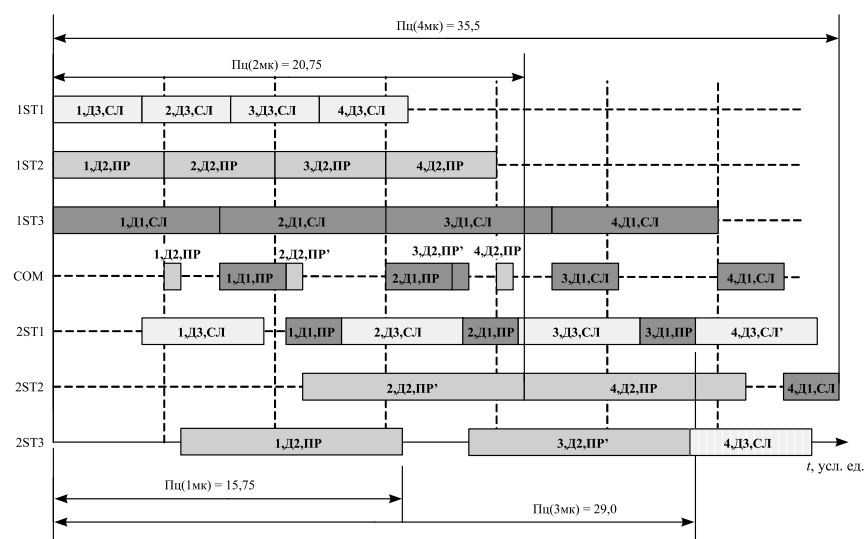


Рис. 8. Циклограмма резервирования рабочих мест с учётом приоритизации партии деталей в рамках одного машинокомплекта изделия А

Таблица 2

Результаты моделирования изготовления заданной программы изделия А

Партия машинокомплекта	Значение производственного цикла, усл. ед.				
	Критический путь	Ситуационная логика	Стратегия жёсткого резервирования	Стратегия гибкого резервирования	Стратегия гибкого резервирования с приоритизацией по партиям
Пц(1мк)	15,75	17,50	16,25	17,25	15,75
Пц(2мк)	20,75	31,00	24,25	20,75	20,75
Пц(3мк)	25,75	33,50	32,25	28,75	29,00
Пц(4мк)	30,75	35,50	35,50	35,50	35,50

онной логики и логики планового резервирования рабочих мест согласно стратегии № 2. Гибкое резервирование рабочих мест позволяет учитывать изменения критических путей при изготовлении партий машинокомплектов, имеет логику адаптации с учётом планового и ситуационного резервирования рабочих мест.

Стратегия гибкого резервирования РМ позволяет учитывать изменения критических путей при изготовлении партий машинокомплектов за счёт согласования логик планового и ситуационного резервирования рабочих мест.

Библиографические ссылки

1. **Боровков А.И., Рябов Ю.А.** Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки. Цифровая трансформация экономики и промышленности // Сб. трудов науч.-практ. конф. с зарубежным участием / под ред. А.В. Бабкина, 2019. С. 234—245.

2. **Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В.** и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. 2019. № 32. С. 2.

3. **Kutin A., Dolgov V., Podkidyshev A., Kabanov A.** Simulation modeling of assembly processes in digital manufacturing // Procedia CIRP. 11. Ser. «11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME 2017». 2018. P. 470—475.

4. **Малыханов А.А., Черненко В.Е.** От имитационной модели к цифровому двойнику: анализ опыта выполнения коммерческих проектов / Труды Девятой Всероссийской науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. 2019. С. 37—46.

5. **Архангельский В.Е.** Требования к системам планирования производства в контексте концепции «Индустрия 4.0» / Труды VII Международного форума «Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России». 2018 г., 24—26 апреля, г. Ялта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://итопк.рф/wp-content/uploads/2018/05/Arhangel'skij.pdf> (дата обращения: 18.02.2020).

6. **Долгов В.А., Кabanov А.А., Леонов А.А., Луцок С.В.** Имитационное моделирование процессов технического обслуживания и ремонта оборудования // Вестник машиностроения. 2019. № 9. С. 85—88.

7. **Долгов В.А., Подкидышев А.А., Дацюк И.В.** и др. Семантические модели технологических систем для

имитационного моделирования производственных процессов // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 8. С. 350—354.

8. **Kutin A., Dolgov V., Sedykh M., Ivashin S.** Integration of different computer-aided systems in product designing and process planning on digital manufacturing // Procedia CIRP. 11. Ser. «11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME 2017» 2018. P. 476—481.

9. **Григорьев С.Н.** Решение задач технологического перевооружения машиностроения // Вестник МГТУ Станкин. 2008. № 3. С. 5—9.

10. **Kovalev I.A., Nikishechkin P.A., Grigoriev A.S.** Approach to programmable controller building by its main modules synthesizing based on requirements specification for industrial automation. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). St. Petersburg, 2017. P. 1—4.

11. **Григорьев С.Н.** Принципы создания многофункциональной системы числового программного управления технологическим оборудованием на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 5. С. 1—11.

12. **Nikishechkin P.A., Kovalev I.A., Nikich A.N.** An approach to building a cross-platform system for the collection and processing of diagnostic information about working technological equipment for industrial enterprises // MATEC Web Conf. Vol. 129, 2017 (International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)).

13. **Никишечкин П.А., Григорьев А.С.** Практические аспекты разработки модуля диагностики и контроля режущего инструмента в системе ЧПУ // Вестник МГТУ «Станкин». 2013. № 4. С. 65—70.

14. **Никишечкин П.А., Ковалев И.А., Григорьев А.С., Никич А.Н.** Построение кроссплатформенной системы для сбора и обработки диагностической информации о работе технологического оборудования на промышленных предприятиях // Автоматизированные технологии и производства. 2016. № 4.

Ссылка для цитирования

Григорьев С.Н., Леонов А.А., Долгов В.А. Имитационное моделирование производственных процессов с применением логик планового и ситуационного резервирования рабочих мест // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 3—10. DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-1-3-10

Уважаемые читатели!

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

Цены за публикацию умеренные.

УДК 621.313.13

А.Л. Золкин, канд. техн. наук, доц.,
(Поволжский государственный университет информатики и телекоммуникаций, г. Самара),

К.А. Василенко

(Владивостокский государственный университет экономики и сервиса),

В.С. Тормозов

(Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск),

Ю.В. Скибин, канд. экон. наук

(Самарский государственный университет путей сообщения)

alzolkin@list.ru; k2857@mail.ru; 007465@pnu.edu.ru; skibin_y@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ DELPHI ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Представлены результаты исследования по организации прикладной программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля измерений параметров износа коллекторов тяговых электродвигателей (ТЭД). Предлагаемая система может быть востребована при выполнении ремонтных работ в локомотивных депо. Предлагается внедрить специальную программно-информационную систему, позволяющую максимально оперативно и с высокой степенью достоверности производить расчёты параметров износа коллекторов и прогнозировать значение диаметра коллектора ТЭД в зависимости от их пробега.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель; локомотив; износ; коллектор; контроль; измерение; программно-информационная система; технологический процесс.

The research results of the applied software and information system organization for monitoring the control technological process of wear parameters measurements of traction electric motor collectors (EMC) are presented. The proposed system may be in demand when performing repair work in locomotive depots. It is proposed to introduce a special software and information system that allows calculating the collector wear parameters as quickly as possible and with a high degree of reliability and predicting the value of the EMC collector diameter depending on their mileage.

Keywords: traction motor; locomotive; wear; collector; control; measurement; software and information system; technological process.

Введение. Современное направление разработки способов контроля и диагностирования сложных агрегатов базируется на создании комплексных универсальных программно-информационных систем управления технологическим процессом контроля. Применение прикладных программно-информационных систем управления технологическим процессом способствует сокращению сроков ремонта и более эффективному использованию технологического оборудования при высокой точности и объективности результатов. Это достигается применением точных преобразователей измеряемых параметров, что исключает ошибки в процессе снятия показаний с приборов и при обработке данных. При помощи программно-информационных систем управления технологическим процессом контроля измерений можно представлять в удобной форме и хранить результаты изме-

рений, статистического анализа, обобщать данные об агрегатах.

По результатам анализа отечественного и зарубежного опыта по автоматизации контроля и техническому диагностированию тяговых электродвигателей (ТЭД) локомотивов в целом и их отдельных узлов и элементов следует отметить, что на локомотивостроительных и локомотиворемонтных заводах, в различных локомотивных депо, в соответствующих научных организациях и в нашей стране, и за рубежом рассматриваемые в статье вопросы находятся в центре внимания.

Анализ научно-технической литературы по вопросу износа элементов коллекторно-щёточного узла (КЩУ) ТЭД выявил отсутствие должного внимания к изучению процесса износа коллекторов и вопросу износостойкости коллекторных пластин [1, 2]. Таким образом, в настоящее время является актуальным обо-

снование методов прогнозирования надёжности и долговечности коллекторов в зависимости от пробега ТЭД.

Цель исследования. Авторы выявили недостатки существующих методов контроля параметров износа коллекторов ТЭД в процессе ремонта в целях получения сведений об их надёжности в эксплуатации. К недостаткам традиционных средств контроля износа коллекторов ТЭД можно отнести использование наглядных методов в процессе регистрации показаний измерительных приборов, приводящее к неточности данных, а в ряде случаев и к утере информации; применение субъективных методов в процессе проведения отдельных испытаний и проверки коммутации, ручных методов при обработке и документировании результатов испытаний; отсутствие автоматизированного архива для накопления и анализа статистических данных.

Целью исследования является совершенствование прогнозирования износа коллекторов ТЭД локомотивов в зависимости от их пробега средствами информационных технологий. Для её достижения были поставлены и решены следующие задачи:

исследовать современное состояние проблемы износа элементов КЩУ ТЭД локомотивов; разработать способ контроля износа пластин коллектора в зависимости от пробега ТЭД; разработать структуру программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля измерений параметров износа коллекторов ТЭД локомотивов в условиях ремонтного производства.

Обозначенная выше проблема обуславливает актуальность в настоящее время внедрения современных информационных технологий в процессы ремонта и испытаний ТЭД локомотивов. Необходимы создание электронной базы данных и расчёт ресурса коллектора ТЭД в целях увеличения сроков их безопасной эксплуатации. В процессе ремонта ТЭД в локомотивных депо предлагается использовать прикладную программно-информационную систему управления технологическим процессом контроля измерений, способствующую повышению качества ремонта данного узла локомотива.

Материал и методы исследования. С учётом специфики работы и особенностей организации технологического процесса на предприятиях железнодорожного транспорта авторами разработана структурная схема программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля измерений

коллекторов ТЭД, которая представляет собой комплекс вычислительно-программных и аппаратных устройств [3]. Эта система содержит подробные данные по каждому ТЭД, приписанному к депо, начиная с момента поступления в локомотивное депо и до момента отправки на капитальный ремонт. Кроме того, система отражает сведения о локомотивах, эксплуатировавших конкретный ТЭД, его пробег, степень эксплуатационного износа коллектора.

К общим недостаткам, характерным для применяемых способов оценки износа коллекторов ТЭД, относятся:

- 1) применение наглядных способов фиксации данных измерительных приборов, что негативно отражается на точности измерений, в том числе нередко приводит к утере данных;
- 2) применение морально устаревших способов обработки и фиксации полученных результатов;
- 3) отсутствие автоматизированного накопительного архива для анализа данных измерений;
- 4) существенные временные затраты при проведении измерений;
- 5) неприемлемые условия труда для выполняющего замеры работника: монотонность действий, воздействие вредных факторов — повышенного уровня температуры, шума и вибрации.

Внедрение новой системы позволяет объединить данные измерений и существенный объём технической документации по ТЭД [4]. Кроме того, программно-информационная система с максимальной точностью определяет ресурс ТЭД по характеристикам износоустойчивости коллектора [5].

Получила известность система контроля технологической дисциплины процесса управления движением поездов (СКТД) [6]. Ближайшим к разработанному авторами техническому решению прикладной программно-информационной системы управления является аппаратно-программный комплекс диагностики и контроля качества ремонта и технического обслуживания [7].

Структура предлагаемой системы представляет собой ряд функциональных подсистем, а именно: измерения данных износа объекта измерений; фиксации промежуточных и окончательных результатов измерений; анализа и сравнения параметров износа с оптимальными значениями; документальной фиксации результатов измерений.

Структурная схема прикладной программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля изме-

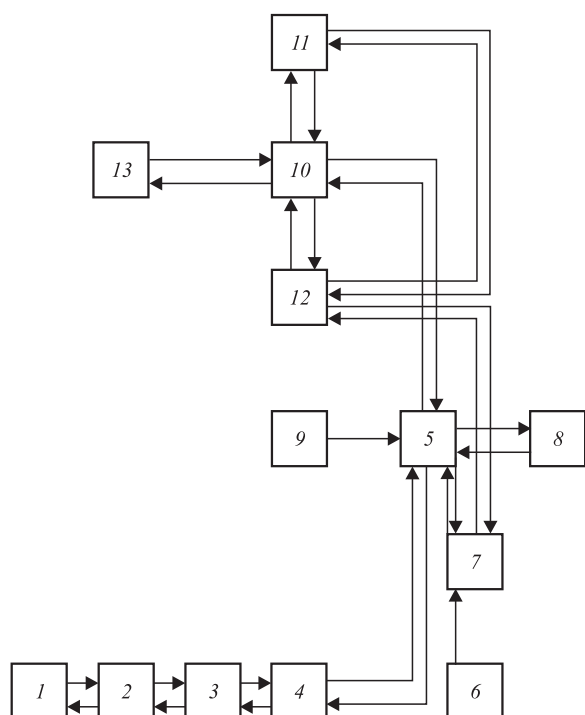


Рис. 1. Структурная схема прикладной программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля измерений параметров износа коллекторов ТЭД локомотивов:

1 — ТЭД; 2 — датчики; 3 — преобразователи; 4 — автоматизированный комплекс измерений износа коллекторов ТЭД; 5 — блок программного управления и обработки данных; 6 — блок поступления дополнительных данных по измерениям; 7 — автоматизированное рабочее место (АРМ) мастера электромашинного цеха локомотивного депо; 8 — блок накопления данных по измерениям износа коллекторов ТЭД; 9 — блок поступления дополнительных данных по ТЭД; 10 — единая база данных локомотивного депо; 11 — база данных отдела главного технолога локомотивного депо; 12 — АРМ руководителя локомотивного депо по ремонту; 13 — база данных технического отдела службы локомотивного хозяйства железной дороги

рений параметров износа коллекторов ТЭД локомотивов приведена на рис. 1.

Рассмотрим алгоритм действия программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля измерений параметров износа коллекторов ТЭД локомотивов. После визуального осмотра и установки измерительных датчиков на ТЭД 1 датчиками 2 производятся измерения износа коллектора. Затем сигналы датчиков при помощи преобразователей 3 переводятся в необходимый вид (аналоговые сигналы преобразуются в цифровые, цифровые сигналы нормализуются) и поступают в автоматизированный комплекс измерений износа коллекторов ТЭД 4. После обработки информация направляется в блок программного управления и обработки

данных 5, в том числе содержащий данные по браковочным параметрам коллекторов ТЭД.

В блок программного управления и обработки данных 5 из базы данных отдела главного технолога локомотивного депо 11 поступают дополнительные данные по ТЭД (9), включающие паспортные данные ТЭД и информацию о пробеге ТЭД при эксплуатации.

После обработки данные измерений поступают в блок накопления данных по измерениям износа коллекторов ТЭД 8. В этот блок помещаются данные по параметрам коллекторов ТЭД, измеренным до ремонта, и параметрам отремонтированных коллекторов ТЭД, занесённым мастером электромашинного цеха с АРМ, а также вычисленный системой остаточный ресурс коллекторов ТЭД.

Если при выходе параметров коллектора за допустимые границы в автоматическом режиме системой обнаружен брак, то определяется вид брака.

Предлагаемая программно-информационная система обеспечивает оперативную передачу информации из электромашинного цеха в единую базу данных локомотивного депо в режиме реального времени.

Результаты исследования и их анализ. Для непосредственного измерения параметров износа коллектора ТЭД авторами предложен следующий способ. После визуального осмотра работником и установки измерительных датчиков на ТЭД производятся измерения износа коллектора специальными датчиками.

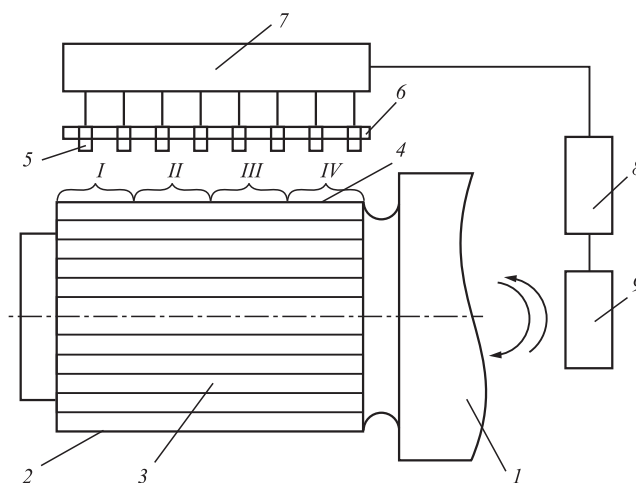


Рис. 2. Схема контроля износа пластин коллектора ТЭД локомотива:

1 — якорь ТЭД; 2 — коллектор; 3 — коллекторные пластины; 4 — поверхность коллектора; 5 — датчик измерения расстояния; 6 — кронштейн для крепления датчиков, подвижный вдоль оси вращения коллектора; 7 — блок управления; 8 — анализатор; 9 — дисплей компьютера

Предлагаемый способ контроля износа пластин коллектора ТЭД локомотива позволяет автоматизировать процесс измерений за счёт использования датчиков, которые контролируют всю поверхность коллектора.

Разработанный алгоритм контроля износа пластин ТЭД локомотива (рис. 2) состоит из следующих основных операций.

После разборки ТЭД в процессе ремонта его якорь 1 устанавливается на специальный стенд, имеющий возможность вращаться вокруг собственной оси. Над коллектором устанавливаются кронштейн 6 с набором датчиков измерения расстояния 5.

В зависимости от типа ТЭД локомотива, а конкретно от длины коллектора и пробега ТЭД, выбирается число датчиков 5. Кронштейн 6, на котором укреплены датчики 5, устанавливается подвижно. Датчики 5 своими выходами подсоединены к блоку управления 7, соединённому выходом со входом анализатора 8, выходом соединённого с дисплеем компьютера 9. Все датчики 5 пронумерованы.

По мере готовности оборудования к замерам ручным способом начинают поворачивать якорь 1. После каждого оборота якоря 1 по блоку управления 7 данные замеров расстояний до поверхности коллектора подлежат фиксации.

Если над каждым поясом (I...IV) поверхности коллектора 4 размещено достаточное число датчиков 5, то данные замеров отражают фактическую картину износа поверхности пластин коллектора. Если же установлено недостаточное число датчиков над поверхностями поясов, то датчики перемещают по кронштейну 6 в пределах поверхности коллектора 4 и вновь производят оборот якоря 1. Точность сведений о состоянии поверхности напрямую зависит от числа точек замера в рамках одного пояса.

По окончании замеров сведения из блока управления 7 направляют в анализатор 8. В нём проводится сравнительная обработка информации при помощи специальных программ для получения точного результата о состоянии поверхности пластин коллектора в виде таблиц либо графиков.

Программно-информационная система обеспечивает подготовку результатов измерений износа для выполнения расчётов; контроль исходных данных и их корректировку в процессе измерений износа; контроль функционирования системы; автоматическое исполнение операций по командам с клавиатуры; обработку результатов измерений по соответствующим алгоритмам; корректировку результатов расчётов; накопление результатов измерений износа и расчётов в электронных

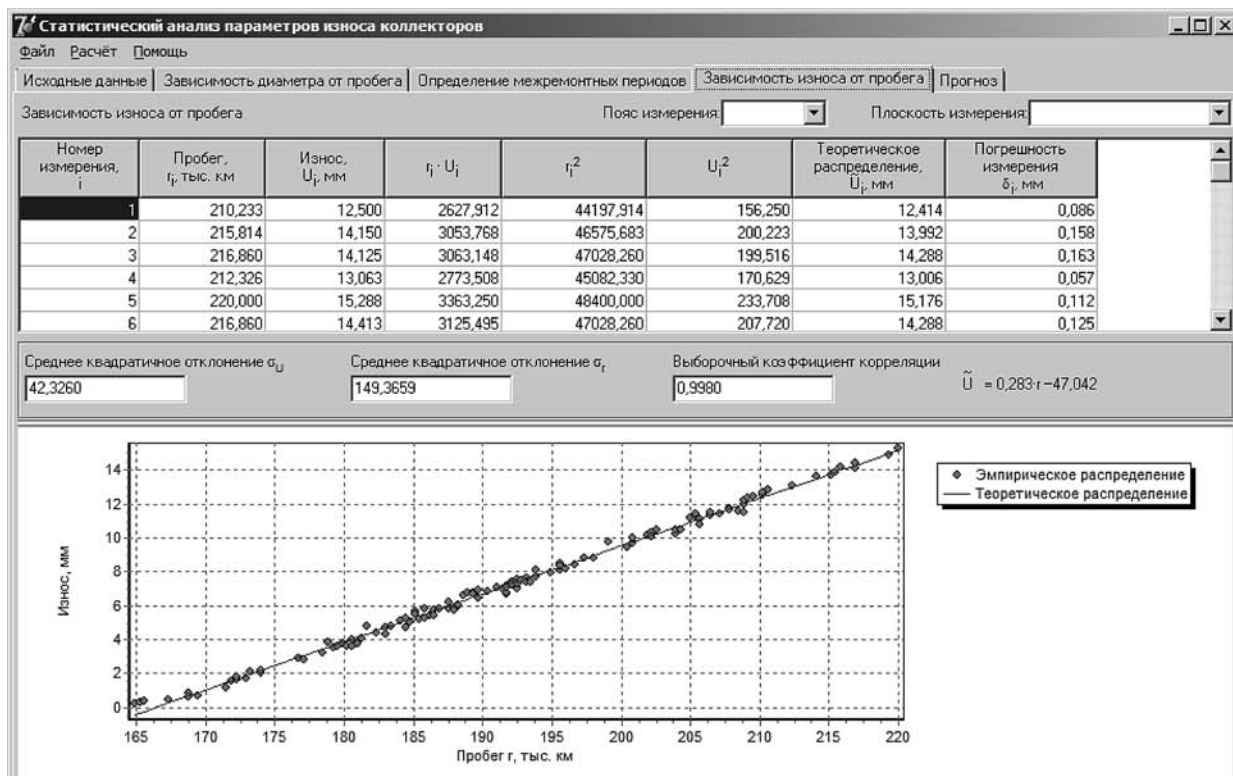


Рис. 3. Вкладка «Зависимость износа от пробега» с результатами расчёта, расчёт выполнен по усреднённым величинам

базах данных или в ином виде; возможность последующей обработки полученных данных; визуализацию результатов измерений износа и расчётов (вывод данных на экран монитора и печать на принтере) [8—11]. Ввод данных ручным способом осуществляется в таблице «Измерения» на вкладке «Исходные данные». Она представлена на рис. 3.

Управление ходом измерений может осуществляться как автоматически (в соответствии с заданной программой измерений), так и по директивам [12], например, мастера электромашиного цеха.

Если предусмотрено автоматическое регулирование, то система сама обслуживает режимы. При этом присутствие мастера цеха у АРМ необязательно — технология измерений износа будет выдержана согласно заданному алгоритму измерений износа. В этом случае мастер цеха может корректировать процесс измерений, снять ТЭД с ремонта, повторить какие-либо измерения и т. д.

После выполнения расчёта исходных данных на вкладке «Прогноз» система вычисляет предполагаемый диаметр коллектора и прогнозируемую степень износа в зависимости от пробега ТЭД.

Заключение. Разработана структурная схема прикладной программно-информационной системы управления технологическим процессом контроля измерений параметров износа коллекторов ТЭД локомотивов в условиях ремонтного производства. Система выполняет функции сбора, обработки и передачи данных о техническом состоянии коллекторов. Применение программно-информационной системы способствует увеличению срока эксплуатации ТЭД за счёт повышения качества измерений износа коллекторов и своевременности их ремонта. Для обработки результатов измерений износа коллекторов предложен расчёт параметров износа коллекторов ТЭД в интегрированной среде разработки Delphi. Исходные данные и результаты расчёта могут быть сохранены в книгу Microsoft Excel.

Библиографические ссылки

1. **Золкин А.Л., Просвиров Ю.Е.** О механической обработке коллекторов тяговых электродвигателей локомотивов / Современные проблемы машиностроения: Труды III Междунар. науч.-техн. конф. Томск, ТПУ, 2006. С. 224—226.

2. **Золкин А.Л., Просвиров Ю.Е.** Повышение надежности коллекторно-щеточного узла тягового электродвигателя локомотива / Развитие транспорта

в регионах России: Проблемы и перспективы. Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Киров, Филиал МГИУ, 2007. С. 132—133.

3. **Исмаилов Ш.К., Селиванов Е.И., Золкин А.Л.** Критерии эффективности диагностических признаков тяговых электрических машин и их сравнительная оценка / Наука и образование транспорту: Материалы IV Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 90-летию транспортного образования в Оренбургской области (Оренбургского техникума железнодорожного транспорта), 20—21 октября 2011 г. Самара—Оренбург, СамГУПС, 2011. С. 6—8.

4. **Зайцев А.В., Захаров Р.Г., Лакин И.К., Невоструев Н.В., Прибылов С.М., Шабалин Н.Г., Шаров В.А., Шмаков А.В.** Система контроля технологической дисциплины процесса управления движением поездов (СКТД) // Патент России № 2307041. 2007. Бюл. № 27.

5. **Молчанов В.В., Камнев М.И., Бочаров А.Г.** Способ ремонта и технического обслуживания и применяемые в способе аппаратно-программный комплекс для диагностики и система для контроля качества ремонта и технического обслуживания // Патент России № 2007103326. 2008. Бюл. № 22.

6. **Лялин В.Е., Файзуллин Р.В.** Интеллектуальная информационная технология для оценки трудозатрат на производство изделий в машиностроении // Вестник ВЭГУ: научный журнал. № 2 (34). Экономика. Уфа, Восточный университет, 2008. С. 54—73.

7. **Lavrov E., Barchenko N., Pasko N., Tolbatov A.** Development of adaptation technologies to man-operator in distributed E-learning systems // Proceedings of 2nd Intern. conf. on Advanced Information and Communication Technologies—2017 (AICT-2017), 2017. P. 88—91. DOI:10.1109/AICT.2017.8020072.

8. **Persson R.** Tilting trains technology, benefits and motion sickness. Royal Institute of Technology (KTH) Aeronautical and Vehicle Engineering Rail Vehicles. Stockholm, 2008.

9. **Файзуллин Р.В., Херинг Ш.** Модель сбора данных на основе кластеризации устройств интернета вещей // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. № 4. С. 156—162.

10. **Тормозов В.С.** Проблемы и перспективы применения и развития ИИ // Ученые заметки ТОГУ. 2018. Т. 9. № 3. С. 1465—1469.

11. **Magomedov I.A., Sebaeva Z.S.** Comparative study of finite element analysis software packages // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technologies City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk. 2020. P. 32073.

12. **Мерганов А.М.** Актуальные проблемы путевого хозяйства // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2013. № 3 (81). С. 198—199.

Ссылка для цитирования

Золкин А.Л., Василенко К.А., Тормозов В.С., Скибин Ю.В. Использование прикладной программно-информационной системы в среде разработки Delphi для диагностирования состояния тяговых электродвигателей // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 11—15.

УДК 628.9:004.94

С.А. Амеликина, канд. техн. наук, доц., **К.А. Дуленкова**
(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, г. Саранск),

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

mikaeva@npo.lit.ru

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ ОСВЕЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Статья посвящена разработке проекта освещения административного здания с учётом новых требований к энергоэффективности осветительных установок. Проект разработан с помощью компьютерного моделирования с использованием современных светодиодных светильников. Проведён анализ влияния актуальных нормативных требований в области энергоэффективности освещения общественных помещений на изменение номенклатуры выпускаемых осветительных приборов.

Ключевые слова: энергоэффективность освещения; моделирование освещения; световая отдача светового прибора; удельная установленная мощность искусственного освещения; осветительная установка; освещение административных помещений.

The article is devoted to the development of a lighting project for an administrative building, taking into account the new requirements for the energy efficiency of lighting installations. The project is developed by using a computer modeling and modern LED lamps. The analysis of the current regulatory requirements influence in the field of lighting energy efficiency in public premises on the change in the range of manufactured lighting devices is carried out.

Keywords: energy efficiency of lighting; lighting modeling; light output of the light device; specific installed power of artificial lighting; lighting installation; lighting of administrative premises.

В последние годы значительный объём научных исследований, проводимых ведущими производителями осветительного оборудования, был направлен на повышение эффективности светового потока полупроводниковых источников света и осветительных приборов на их основе, снижению их себестоимости и увеличению срока службы [1—3].

Общественно-административные здания и сооружения предназначены для размещения организаций, учреждений и предприятий (управления, финансирования, информационно-технического назначения, научно-исследовательских, проектных и др.). Оценка соответствия административного здания требованиям энергоэффективности освещения — важная народнохозяйственная задача [4].

Основываясь на результатах светотехнического аудита и разработанных энергосберегающих мероприятиях, можно сформулировать способы экономии электроэнергии на освещение.

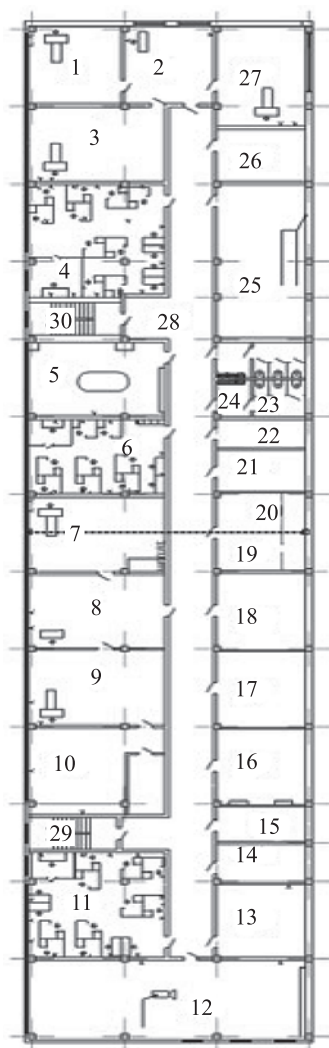
Экономия электроэнергии на освещение может быть получена благодаря совершенствованию систем освещения; использованию эффективных источников света; правильному выбору и рациональному размещению светильников и применению новых осветительных приборов

и устройств; организации управления освещением и его автоматизации; рациональному построению осветительных сетей; введению плановой эксплуатации освещения [5].

Был проведён светотехнический аудит административно-офисных помещений Завода световых приборов в г. Саранск. Аудит проведён на соответствие ГОСТ Р 55710—2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений». Выбран третий этаж здания, расположение помещений показано на рисунке. На этаже находятся 30 помещений разного назначения: офисные, технические, бытовые помещения, склады, а также лестницы и санузлы. Общая площадь помещений третьего этажа составила 1425,84 м².

В соответствии с ГОСТ 24940—2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещённости» были проведены измерения освещённости на рабочих поверхностях (в офисных помещениях) в контрольных точках, на полу (коридор и санузел) в разнородных по функциональному назначению помещениях.

Помещения данного этажа подвергались капитальному ремонту. Была проведена модернизация осветительной установки (ОУ). Используемые в ОУ светильники производства



Планировка третьего этажа:
1...30 — номер помещения

Ардатовского светотехнического завода (АСТЗ), на основе светодиодов имеют достаточно высокую эффективность.

Анализ показал, что все используемые в действующей ОУ осветительные приборы соответствуют требованиям энергоэффективности ГОСТ Р 54350—2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний» для светильников для общественных зданий со светодиодами, который во время проектирования ОУ был актуален. Анализ на соответствие требованиям ГОСТ Р 54350—2015 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний» по минимальной световой отдаче светильников со светодиодами показывает, что светильник DVO11-40-003 (ОАО «АСТЗ») не соответствует требованиям энергоэффективности, а для светильников, имеющих мощность менее 30 Вт, требования не установлены.

Дальнейшее сопоставление световой отдачи этих же светильников на соответствие требованиям свода правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [6] показало, что из семи типов светильников, эксплуатируемых в ОУ, установленным требованиям данного СП соответствует только один — DSP44-38-002 Flagman F (ОАО «АСТЗ»).

Таким образом, новые стандарты способствуют значительному повышению требований к энергоэффективности световых приборов.

Для проведения светотехнического аудита при измерении освещённости использовался люксметр-пульсметр ТКА, разрешённый ГОСТ 24940—2016 как средство измерения освещённости и коэффициента пульсации освещённости $K_{п}$.

Перед началом измерения освещённости измерялось напряжение в сети вольтметром класса точности 1,5. Отклонение от номинального значения не превысило 3,5 %. Число контрольных точек определялось в соответствии с ГОСТом для каждого обследованного помещения.

Результаты (табл. 1) показали, что в офисных помещениях, где имеются рабочие места с видеотерминалами, средняя освещённость близка, но всё же немного ниже установленных 500 лк, а в отделе маркетинга выдержаны нормы. В помещении для приёма пищи освещённость выше нормы на 75 %, а в коридоре — ниже нормы в три раза. Коэффициент пульсации во всех помещениях не превышает нормированных значений. Таким образом, требуется модернизация ОУ для её приведения в соответствие требованиям ГОСТ Р 55710—2013.

Таблица 1

Результаты светотехнического аудита ряда помещений

Номер помещения на плане	Назначение помещения	Нормируемая плоскость	Освещённость рабочих поверхностей по ГОСТ Р 55710—2013, лк	Измеренная средняя освещённость, лк	Нормированный $K_{п}$, не более, %	Измеренный $K_{п}$, %	Соответствие ГОСТ Р 55710—2013
1	Рабочее место с компьютером	Г — 0,8	500	470	5	0	Нет
4	ГРСО — офис	Г — 0,8	500	487	5	0	Нет
11	Отдел маркетинга — офис	Г — 0,8	500	603	5	0	Да
15	Комната приёма пищи	Г — 0,8	200	350	20	3,3	Да
16	Лаборатория	Г — 0,8	500	490	15	0	Нет
23	Санузел	Г — 0	200	230	—	2,8	Да

При создании проекта были выбраны световые приборы на основе светодиодных источников света производства ОАО «АСТЗ» типа ДПО46-48-003 Luxe F 840 (для технических помещений, складов, для офисных помещений, выставочного и актового залов, коридора, для санузла).

Созданы проекты освещения офисных помещений различного назначения в соответствии с ГОСТ Р 55710—2013. Результаты проектирования представлены в сводной табл. 2.

Программа DIALux позволяет выполнять расчёт удельной установленной мощности в помещениях. Данный показатель относится к одному из критериев энергоэффективности и присутствует в СП 52.13330.2016.

Проводя сравнительный анализ устанавливаемых требований по максимальной

мощности для общественных помещений по табл. 3, можно отметить, что требования в СП 52.13330.2016 по энергоэффективности возросли по сравнению с СП 52.13330.2011 (нормированные значения удельной установленной мощности снижены) с 22 до 65 %.

В табл. 4 приведено сопоставление значений удельной установленной мощности на освещение в проектируемых помещениях, нормированных СП 52.13330 от 2011 и 2016 годов. Фактические значения установленной мощности для всех помещений удовлетворили повышенным требованиям СП 52.13330.2016 (в зависимости от типа помещения она составила от 2,61 Вт/м² в кладовой до 9,13 Вт/м² в санузле).

В результате проведённой работы выполнено компьютерное моделирование условий освещения всех помещений третьего этажа

Таблица 2

Значения нормированных параметров по ГОСТ Р 55710—2013 и полученных при проектировании освещения

Номер помещения на плане	Назначение помещения	Освещённость рабочей поверхности, лк		Равномерность освещённости, не менее		Показатель UGR, не более	
		ГОСТ	Проект	ГОСТ	Проект	ГОСТ	Проект
1	Рабочее место с компьютером	500	543	0,6	0,8	19	17
2	Рабочее место с компьютером	500	541	0,6	0,6	19	17
3	Рабочее место с компьютером	500	571	0,6	0,96	19	15
4	ГРСО — офис	500	544	0,6	0,82	19	16
5	Переговорная	500/100	543	0,6	0,7	19	14
6	Офис	500	589	0,6	0,53	19	15
7	Офис	500	576	0,6	0,43	19	15
8	Офис	500	555	0,6	0,43	19	14
9	Офис	500	584	0,6	0,53	19	14
10	Комната отдыха	100	547	0,4	0,69	22	15
11	Отдел маркетинга — офис	500	512	0,6	0,86	19	16
12	Актовый зал	300/75	302/112	0,4	0,42	22	16
13	Кладовая	100	136	0,4	0,41	25	20
14	Кладовая	100	151	0,4	0,40	25	21
15	Столовая, буфет	200	271	0,4	0,5	22	20
16	Лаборатория	500	569	0,4	0,40	22	16
17	Кладовая	100	153	0,4	0,41	25	16
18	Серверная	300	379	0,4	0,48	19	15
19, 20	Вентиляционная	75	149	—	—	—	—
21	Кладовая	100	—	0,4	—	25	—
22	Кладовая	100	137	0,4	0,41	25	20
23	Санузел	200	259	0,4	0,41	25	20
24	Санузел	200	259	0,4	0,40	25	20
25	Выставочный зал	300/75	382/202	0,4	0,43	22	15
26	Кладовая	100	153	0,4	0,4	25	16
27	Рабочее место с компьютером	500	524	0,6	0,82	19	13
28	Коридор (в административном здании)	300	354	0,4	0,68	19	16

Таблица 3

Изменение по максимально допустимой удельной установленной мощности при введении СП 52.13330.2016

Освещённость на рабочей поверхности, лк	Индекс помещения	Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ²		Снижение нормированного параметра максимально допустимой удельной установленной мощности	
		СП 52.13330.2011	СП 52.13330.2016	Абсолютная величина, Вт/м ²	Относительная величина, %
500	0,6	42	23	19	45
	0,8	39	20	19	49
	1,25	35	18	17	49
	2 и более	31	15	16	52
400	0,6	30	20	10	33
	0,8	28	16	12	43
	1,25	25	14	11	44
	2 и более	22	12	10	45
300	0,6	25	18	7	28
	0,8	23	14	9	39
	1,25	20	12	8	40
	2 и более	18	10	8	44
200	0,6...1,25	18	14	4	22
	1,25...3,0	14	8	6	43
	Более 3	12	6	6	50
150	0,6...1,25	15	10	5	33
	1,25...3,0	12	8	4	33
	Более 3	10	7	3	30
100	0,6...1,25	12	5	7	58
	1,25...3,0	10	3,5	6,5	65
	Более 3	8	3	5	63

Таблица 4

Фактическая удельная установленная мощность на освещение в проектируемых помещениях и её нормированные значения

Назначение помещения	Площадь, м ²	Индекс помещения <i>i</i>	Максимальная удельная установленная мощность, Вт/м ²		
			Фактическая	СП 52.13330.2016	СП 52.13330.2011
Рабочее место с компьютером	36	1,76	6,28	18	35
Рабочее место с компьютером	36	1,76	6,79	18	35
Рабочее место с компьютером	53	2,13	5,86	15	31
ГРСО — офис	76,7	2,56	5,31	15	31
Переговорная	54	2,15	4,87	15	31
Рабочее место с компьютером	54	2,15	5,20	15	31
Рабочее место с компьютером	54	2,15	5,20	15	31
Рабочее место с компьютером	54	2,15	5,20	15	31
Рабочее место с компьютером	54	2,15	5,20	15	31
Комната отдыха	60	1,94	3,41	3,5	10
Отдел маркетинга — офис	76,7	2,57	5,67	15	31
Актный зал	115,2	1,83	2,97	8	12
Кладовая	32,1	1,41	3,30	3,5	10
Кладовая	16	0,92	3,11	5	12
Столовая, буфет	16	0,92	5,55	14	18
Лаборатория	32,1	1,41	7,40	18	31

Окончание табл. 4

Назначение помещения	Площадь, м ²	Индекс помещения <i>i</i>	Максимальная удельная установленная мощность, Вт/м ²		
			Фактическая	СП 52.13330.2016	СП 52.13330.2011
Кладовая	32,1	1,41	2,85	3,5	10
Серверная	32,1	1,41	3,49	3,5	10
Вентиляционная	32	0,92	2,79	5	12
Кладовая	17,3	0,97	2,61	5	12
Кладовая	14,8	0,87	3,79	5	12
Санузел	16	0,74	9,13	14	18
Санузел	16	0,74	9,13	14	18
Выставочный зал	32	1,66	4,78	14	20
Кладовая	28,8	1,33	3,47	3,5	10
Рабочее место с компьютером	48	2,02	5,48	15	31
Коридор	312,94	1,13	4,98	14	23

общественно-административного здания. Предложен вариант освещения с использованием трёх типов световых приборов: ДВО12-30-001 Prizma 840 (световая отдача 112,3 лм/Вт, 207 шт.), ДПО46-48-003 Luxe F 840 (92,7 лм/Вт, 13 шт.) и ДВО59-10-001 DLU 840 (97,8 лм/Вт, 30 шт.). Все выбранные световые приборы отвечают повышенным требованиям энергоэффективности, соответствующим СП 52.13330.2016 (т. е. имеют световую отдачу не менее 90 лм/Вт).

В ходе маркетингового исследования рынка светодиодных светильников в России установлено, что он активно развивается. Это связано как с импортом продукции, так и с ростом отечественного производства светодиодных световых приборов.

Нормативная база в части условий освещения продолжает совершенствоваться. В ноябре 2019 г. утверждены Изменения № 1 к СП 52.13330.2016 [7], которые введены в действие в мае 2020 г. Рекомендуемые в [7] световые отдачи световых приборов со светодиодами с индексом цветопередачи Ra более 85 должны быть не менее 100 лм/Вт, а с Ra от 80 до 85 — не менее 105 лм/Вт. Одновременно изменены в сторону энергосбережения максимально допустимые удельные установленные мощности искусственного освещения в помещениях общественных зданий [8–10].

Таким образом, для того чтобы быть конкурентоспособными на рынке, производителям светового оборудования необходимо постоянно совершенствовать номенклатуру осветительных приборов с точки зрения их энергоэффективности.

Библиографические ссылки

1. Amelkina S.A., Zheleznikova O.E., Sinitsyna L.V. Hygienical evaluation of led lighting systems // Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. Vol. 5. No. 5. P. 1613–1618.
2. Железникова О.Е., Амеликина С.А., Сеницына Л.В. Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника. 2018. № 2. С. 6–10.
3. Железникова О.Е., Сеницына 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. Бакир Кючуккая И., Алакавук Е. Оценка соответствия административного здания требованиям программы LEED // Светотехника. 2019. № 4. С. 52–57.
5. Амеликина С.А. Энергоэффективность в освещении: учеб. пособие. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2007. 56 с.
6. СП 52.13330.2016 (Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*). Естественное и искусственное освещение.
7. Изменения № 1 к СП 52.13330.2016 (СНиП 23-05-95*). Естественное и искусственное освещение.
8. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: Русайнс, 2017. С. 150.
9. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: Русайнс, 2018. С. 135.
10. Микаева С.А., Микаева А.С. Современные электронные системы и устройства. М.: Русайнс, 2019. С. 186.

Ссылка для цитирования

Амеликина С.А., Дупленкова К.А., Микаева С.А. Разработка энергоэффективных проектов освещения с использованием автоматизированного проектирования // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 16–20.

УДК 629.33

DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-1-21-28

Е.С. Лобусов, канд. техн. наук, доц., **С. Юнесс**
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

saremfy82@yahoo.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕВОЙ ПОЛУАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЁСНОЙ МАШИНЫ

Рассмотрены задачи, связанные с построением объединённой полуактивной системы демпфирования колебаний несущей платформы (шасси) колёсной машины (КМ), учитывающих текущий профиль дороги, а также приведена оценка влияния сети на результирующее качество функционирования всей объединённой системы демпфирования.

Выполнено моделирование сетевого объединения модели одной колёсной пары, возможного закона управления подвеской, центрального процессора и физической модели сети CAN с использованием аппаратуры National Instruments.

Результаты проведённых экспериментов как чисто математических, так и с физической моделью сети показали работоспособность предлагаемых решений.

Ключевые слова: CAN-шина; полуактивная система подвески; идентификация; моделирование.

The tasks related to the construction of a united semi-active system for damping vibrations of the supporting platform (chassis) of a wheeled vehicle (WV), taking into account the real road profile were considered. The influence estimation of the network on the functioning resulting quality of the entire united damping system is carried out. The modeling of the network united of the model of one wheelset, the possible law of control of the suspension, the central processor and the physical model of the CAN network by using the National Instruments equipment is performed. The results of the experiments, both purely mathematical and with a physical network model, showed the performance of the proposed solutions.

Keywords: CAN-tire; semi-active suspension system; identification; modeling.

Введение. Уменьшение колебаний несущей платформы (шасси) колёсной машины (КМ), вызванных текущим профилем дороги, связано с построением соответствующей системы управления подвеской, обеспечивающей «хорошее» качество демпфирования. Существует множество подходов к построению таких систем, но в статье рассмотрены ограничиваются только классом полуактивных систем, контролирующей степень демпфирования подвески [1–6].

При этом уделяется внимание сетевым системам управления, которые в этом случае придают системе некоторые ценные свойства. В данной ситуации под сетевыми системами управления понимается управление через сеть (Networked Control Systems), и поэтому основными становятся вопросы, связанные именно с наличием сети в составе системы, процессом квантования, ограничением на скорость передачи данных, временными задержками и т. д., что может повлиять на качество функционирования всей системы [7, 8]. По этой причине описание влияния сети оператором постоянного чистого запаздывания $e^{-\tau p}$ является очень приближённым, так как не учиты-

вает отмеченные особенности сети передачи данных, определяемых её протоколом.

Для выбранного способа построения системы демпфирования КМ может возникать своя сетевая структура взаимодействия и, естественно, топология выбранной структуры также будет оказывать влияние на динамические свойства всей системы демпфирования.

В данной статье рассматриваются некоторые варианты построения сетевой системы демпфирования КМ и исследование её динамических свойств для подхода «снизу-вверх», когда основным источником возмущения системы демпфирования связан со взаимодействием транспортного средства с дорожным полотном.

Исследование качества функционирования сетевой системы — дополнительный вопрос, который необходимо рассмотреть [9, 10]. Один из наиболее надёжных способов оценки и выяснения влияния свойств и характеристик сети связан с использованием физических моделей конкретной сети. Для этой цели реально воспользоваться техническими и программными средствами компании National Instruments, которые позволяют создавать математические модели, вводить физическую модель сети

(в частности, сети CAN) и проводить исследование сетевой системы.

Полученные результаты исследования носят предварительный характер и указывают на необходимость учитывать свойства и производить надлежащий выбор настроек сети для обеспечения качественного функционирования системы в целом [11].

Общие сведения о системе демпфирования КМ и сетевой организации взаимодействия блоков системы. Выясним некоторые общие особенности, характеризующие расположение средств (блоков), использующихся при построении системы управления движением КМ [12].

Несущая платформа (шасси) КМ поддерживается и перемещается с помощью колёсных пар. На платформе в непосредственной близости от крепления каждой подвески колеса, обладающей упругодемпфирующими свойствами, располагается блок управления подвеской, включающий измерители хода подвески и ускорения в данной точке, а также локальный процессор и контроллер сети. Вся эта совокупность формирует узел сети.

Кроме того, имеются бортовой центральный вычислительный комплекс (БЦВК), измерители угловой скорости движения платформы, известны места расположения грузов, водителя, оборудованные измерителями ускорений и т. д.

Все отмеченные составляющие взаимодействуют через некоторую общую сеть. На рис. 1 показано расположение указанных средств в простейшем варианте двухосной КМ.

В качестве основного способа организации взаимодействия блоков, используемых при построении систем управления, в настоящее время для транспортных средств предлагается использовать сетевые протоколы CAN (can.mgarathon.ru| Введение в протокол CAN| CAN-технологии) [9, 10].

Для широко распространённой сети передачи данных CAN (Controller Area Network) анализируется её основной наиболее часто используемый тип сообщения, который следует принимать во внимание.

Промышленная сеть реального времени CAN представляет собой сеть с общей средой

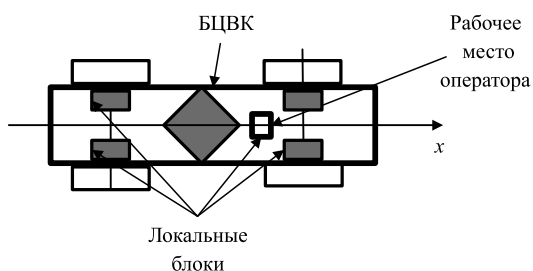


Рис. 1. Расположение основных блоков

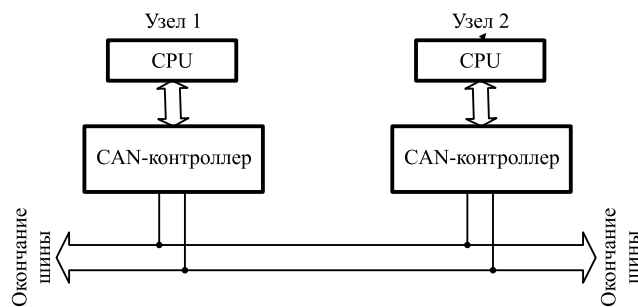


Рис. 2. Сеть CAN с общей средой передачи данных

передачи данных. Это означает, что все узлы сети одновременно принимают сигналы, передаваемые по шине (рис. 2).

Каждый узел включает CAN-контроллер, который обеспечивает взаимодействие с сетью и реализует протокол и микропроцессор (CPU).

Данные в CAN передаются короткими сообщениями-кадрами стандартного формата. Не вдаваясь подробно в особенности технической и программной реализации процесса функционирования сети (это имеет, в большей степени, отношение к специалистам в области конструирования сетей), выделим только факторы и свойства сети, которые оказывают существенное влияние на качество функционирования динамической системы, одним из элементов которой является данная сеть. Сюда относятся, в первую очередь, такие типы сообщений как Data Frame, Error Frame, которые относятся к протоколу сети.

Таким образом, в общем случае при проведении исследования или моделирования сетевой системы управления следует, в первую очередь, учитывать размер передаваемых данных, возникающие ошибки и отсутствие подтверждения, приводящие к повторам в передаче данных через узлы, и приоритеты, возникающие при доступе к сети.

Кроме того, важным свойством является скорость связи сети на основе CAN, которая зависит от физических расстояний между узлами. Так, если расстояние менее 40 м, то скорость может достигать 1 Мбит/с.

Тем самым, при анализе и настройке протокола на реальные условия эксплуатации можно проверить и оценить динамические свойства сетевой системы, используя предварительно соответствующие модели.

Модель узла подвески КМ и дорожного полотна. Для моделирования профиля дороги использовалась кусочно-непрерывная аппроксимация, позволяющая воспроизводить различные виды движений КМ как стационарного, так и нестационарного вида — разгон, торможение, поддержание скорости и т. д.

Рассмотрим движение автомобиля по дорожному полотну. Основным элементом системы подвески является отдельная пара «платформа—колесо». В дальнейшем исследуется схема подвески, показанная на рис. 3.

С учётом введённых обозначений уравнения движения принимают вид

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{r}_1 &= -d_1 (\dot{r}_1 - \dot{r}_2) - k_1 (r_1 - r_2)_1 - P_{g1}; \\ m_2 \ddot{r}_2 &= -d_1 (\dot{r}_2 - \dot{r}_1) - k_1 (r_2 - r_1) + \\ &+ k_2 (r_3 - r_2) + d_2 (\dot{r}_3 - \dot{r}_2) - P_{g2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Переменная r_3 определяет вход (профиль дороги).

Если рассмотреть показания вертикального акселерометра, установленного на платформе $a_{1в}$

$$-\frac{d_1}{m_1} (\dot{r}_1 - \dot{r}_2) - \frac{k_1}{m_1} (r_1 - r_2) = a_{1в}, \quad (2)$$

то можно оценить относительное расстояние $(r_1 - r_2)$ при известных параметрах подвески.

Переменная r_3 является возмущением на систему и для её описания и последующего моделирования используется следующий подход [13]. Предварительно профиль дороги аппроксимируется некоторой случайной функцией на выбранном кванте по расстоянию Δs . Процесс аппроксимации основывается на реальных записях дороги или подбирается эвристически экспертом-дорожником. В качестве случайной функции реально принять многочлен 3-го порядка на каждом участке длины Δs :

$$x(s) = X_0 + X_1 s + X_2 s^2 + X_3 s^3, \quad (3)$$

где X_0, X_1, X_2, X_3 — неизвестные коэффициенты, подлежащие определению; s — координата расстояния.

Если известны значения переменной $x(s)$ и её производной $\frac{dx(s)}{ds} = x'(s)$ в начале и конце

интервала Δs (эти переменные рассматриваются и генерируются как случайные), то неизвестные коэффициенты многочлена определяются однозначно. Тогда оказывается возможным по задаваемой информации в краевых точках интервала восстановить данные в промежутке интервала по расстоянию и обеспечить непрерывное продолжение на следующий участок, используя новые случайные значения переменной и производной в конце следующего промежутка и т. д. Тем самым обеспечивается непрерывность описания профиля дороги.

Постановка задачи исследования. Необходимо сформировать соответствующую систему демпфирования КМ с использованием сетевых технологий, одним из элементов которой является узел подвески. Функционирование узла описывается уравнениями типа (1) и (2) при действии возмущений со стороны дороги.

В основу построения конкретного варианта сетевой организации всей системы закладывается структура соответствующей синтезированной системы демпфирования для отдельного узла подвески.

Известны различные варианты таких структур [3, 9]. Однако в данном случае основой синтезированной системы становится текущая идентификация параметров подвески для отдельного узла.

Предлагается для нахождения параметров каждой колёсной пары (подвески) — жёсткости и демпфирования — использовать результаты идентификации, но в дальнейшем выполнять регулирование только одного из параметров этой пары — коэффициента демпфирования — в зависимости от текущей ситуации. Для этой цели формируется замкнутый контур по демпфированию, отрабатывающий желаемую уставку. Используются возможные варианты организации контуров управления для каждой подвески с помощью сетевых структур. Такой подход позволяет подойти к организации и построению иерархической системы с объедине-

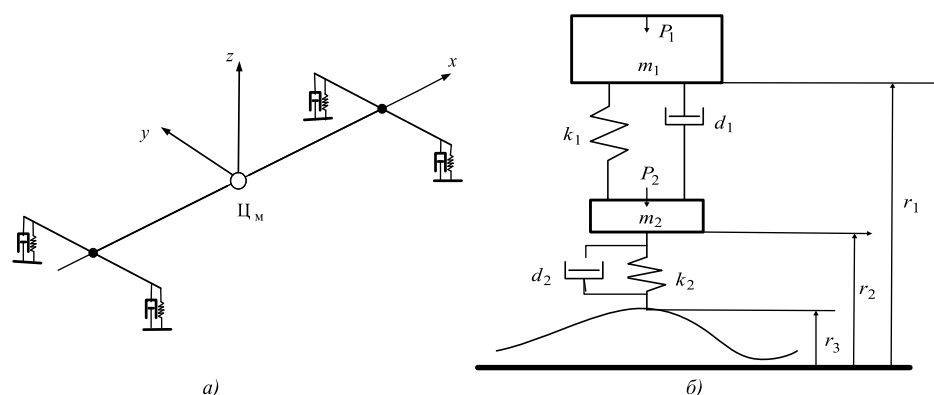


Рис. 3. Схема расположения средств подвески (а) и физическая модель узла подвески (б):

m_1 — приведённая (полезная) к узлу масса; $P_{g1} = m_1 g$ — полезный вес; m_2 — масса колеса; $P_{g2} = m_2 g$ — вес колеса; k_1, k_2 — коэффициенты упругости для полезной массы и массы колеса соответственно; d_1, d_2 — коэффициенты демпфирования полезной массы и колеса соответственно; r_1, r_2, r_3 — перемещения характерных точек; g — ускорение силы тяжести

нием функционирования всех колёсных пар через сети передачи данных.

Рассмотрим алгоритм определения параметров подвески. Определить параметры уравнения (2) реально, если воспользоваться простым методом дифференциальной аппроксимации [14].

В стандартных обозначениях

$$\dot{x}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{p}, \quad (4)$$

где $\dot{x}(t) = (\dot{r}_1 - \dot{r}_2)$, $x(t) = (r_1 - r_2)$; $\mathbf{A}(t) = [-(r_1 - r_2) - a_{1в}]$; $\mathbf{p} = \begin{bmatrix} k_1/d_1 \\ m_1/d_1 \end{bmatrix}$, $u = a_{1в}$, \mathbf{A} — системная матрица; \mathbf{p} — вектор параметров; переменные $(r_1 - r_2)$, $(\dot{r}_1 - \dot{r}_2)$, $a_{1в}$ считаются известными.

Для простейшего вида квадратичного интегрального показателя

$$\left\{ \int_{t_0}^t [\dot{x}(\tau) - \mathbf{A}^T(\tau)\mathbf{p}]d\tau \right\},$$

из условия получения его минимума (необходимое условие) возникает система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестного вектора параметров \mathbf{p} :

$$\left[\int_{t_0}^t \mathbf{A}^T(\tau)\mathbf{A}(\tau)d\tau \right] \mathbf{p} = \left[\int_{t_0}^t \mathbf{A}^T(\tau)\dot{x}(\tau)d\tau \right]. \quad (5)$$

Раскрывая полученное матричное соотношение, возникает система из двух уравнений относительно вектора неизвестных параметров \mathbf{p} :

$$\int_{t_i}^{t_j} \begin{bmatrix} x^2 & ux \\ ux & u^2 \end{bmatrix} dt \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \int_{t_i}^{t_j} \begin{bmatrix} -x\dot{x} \\ -u\dot{x} \end{bmatrix} dt. \quad (6)$$

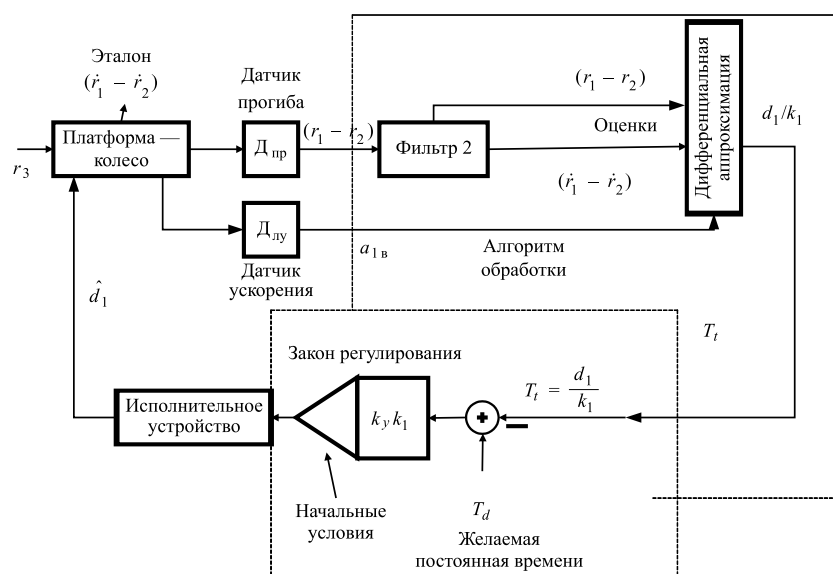


Рис. 4. Блок-схема полуактивной системы регулирования отдельной пары «платформа—колёсо»

Текущая информация о состоянии обеспечивается двумя датчиками — датчиком прогиба $D_{пр}$, подающего данные об относительном положении платформы к колесу $(r_1 - r_2)$, и датчиком локального ускорения платформы $D_{лу}$.

Двух показаний датчиков и производной от относительного положения платформы достаточно, чтобы идентифицировать текущее значение параметра демпфирования d_1 пары «колёсо—платформа» (точнее, отношение $T_t = d_1/k_1$ с размерностью «секунда»), используя простой метод дифференциальной аппроксимации [14, 15], и сравнить текущее значение параметра демпфирования с желаемой уставкой также в виде постоянной времени $T_d = d_{1ж}/k_1$ (k_1 — локальный параметр жёсткости) (рис. 4).

Разность от сравнения $T_d - T_t$ с последующим интегрированием (интегральный закон регулирования) используется в качестве сигнала на изменение соответствующего параметра демпфирующего устройства подвески посредством исполнительного устройства (управляемый демпфер). На рис. 4 операция интегрирования обозначена треугольником.

Фильтр 2 (классический фильтр 2-го порядка) введён для получения оценок прогиба и его производной. Параметры фильтра подбираются так, чтобы его влияние на свойства всей системы практически отсутствовало. Можно показать, что контур управляемого демпфирования (см. рис. 4) практически не влияет на функционирование всей системы подвески.

Результаты экспериментальных исследований. Для оценки качества функционирования системы в соответствии с блок-схемой (см. рис. 4) проведено моделирование в различных условиях движения при отсутствии сети. Результаты такого моделирования показывают работоспособность принятого закона управления и фактически выступают в качестве эталона.

Далее на рисунках приведены некоторые результаты моделирования. Дорога моделируется совокупностью отрезков фиксированной длины $\Delta_s = 1,8$ м, каждый из которых имеет случайный профиль [13], описываемый многочленом 3-го порядка. Вид профиля дороги, а также характер изменения скорости приведены на рис. 5. Нормированная корреляционная функция и спектральная плотность вычисляются по известным алгоритмам статистического анализа. Качественно они совпадают с данными из диссертации [6].

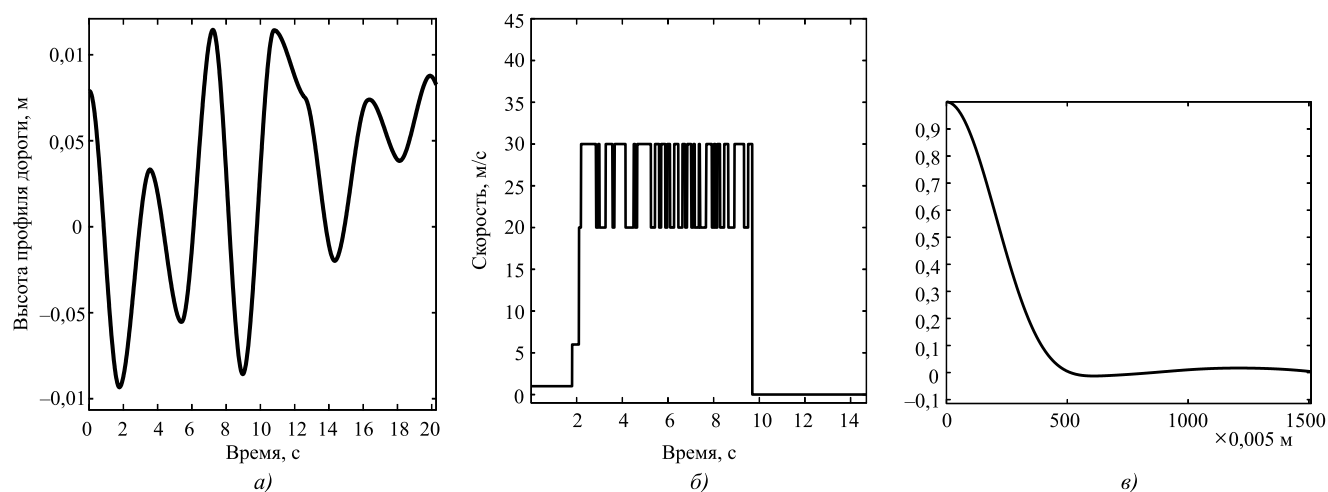


Рис. 5. Результаты моделирования:

a — высоты профиля дороги $r_3(t)$, м; b — изменения скорости $v(t)$, м/с; $в$ — нормированной корреляционной функции дороги с дискретностью по расстоянию 0,005 м

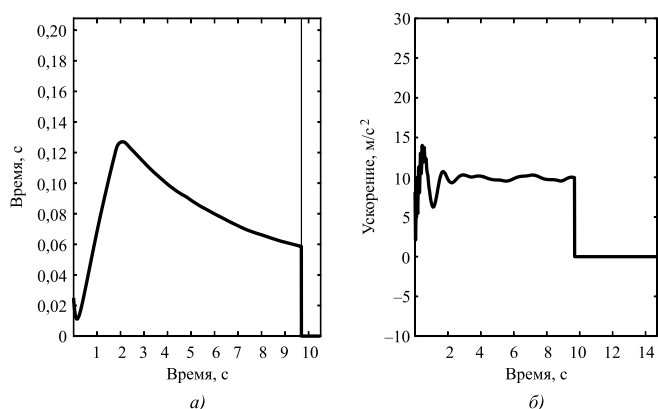


Рис. 6. Результаты моделирования функционирования системы демпфирования при движении и отсутствии сети:

a — изменение демпфирования d_1/k_1 ; b — изменение ускорения платформы $a(t)$

Движение подвижного объекта соответствует разгону от начальной скорости $v_0 = 1$ м/с до заданного значения v_k , выдерживаемого с некоторой точностью $v_k = 25 \pm 5$ м/с.

На рис. 6 приведены графики изменения скорости v , относительного коэффициента демпфирования d_1/k_1 и ускорения a в точке подвеса колеса.

Следует отметить, что оценка степени демпфирования имеет переходный процесс (см. рис. 6, a).

Рассмотрим несколько вариантов реализации предлагаемой системы с учётом наличия сети.

Организация сети 1. Локальный процессор реализует алгоритмы поддержания заданного демпфирования в каждой паре «платформа—колесо» (см. рис. 4). Для этой цели формируется сетевой контур системы регулирования для каждой пары «платформа—колесо».

Алгоритмы идентификации и интегрального закона регулирования реализуются в локальном процессоре; ввод и вывод данных осуществляется через преобразователи аналог-цифра (АЦП) и цифра-аналог (ЦАП). Желаемая уставка вырабатывается извне в БЦВК и пересылается через сеть.

На рис. 7, a показана блок-схема реализации данного варианта с использованием сети.

Организация сети 2. В этом варианте реализация всех процедур обработки происходит в центральном вычислителе. Теперь показания датчиков пары «платформа—колесо» реально упаковать в одну посылку (это зависит от разрядности преобразователей), а после объединения передать по сети CAN в центральный вычислитель.

В свою очередь, в БЦВК вырабатывается и сигнал управления в виде T_d на изменение величины демпфирования. На рис. 7, b показана более детальная интерпретация взаимодействия отдельных частей (блоков) полуактивной системы демпфирования через сетевой интерфейс.

Как видно, рассмотренные структуры можно отнести к низовым. Отсюда возникает практическая возможность формирования всей системы управления подвеской КМ иерархического типа за счёт наличия сети. На верхних уровнях иерархии оценивается дорожная ситуация и вырабатываются уставки для низового уровня.

Программно-аппаратные средства моделирования соответствуют средствам комплекса National Instruments, что позволяет использовать физическую сетевую шину CAN, отрабатывать и исследовать работоспособность предлагаемых алгоритмов, выяснять принци-

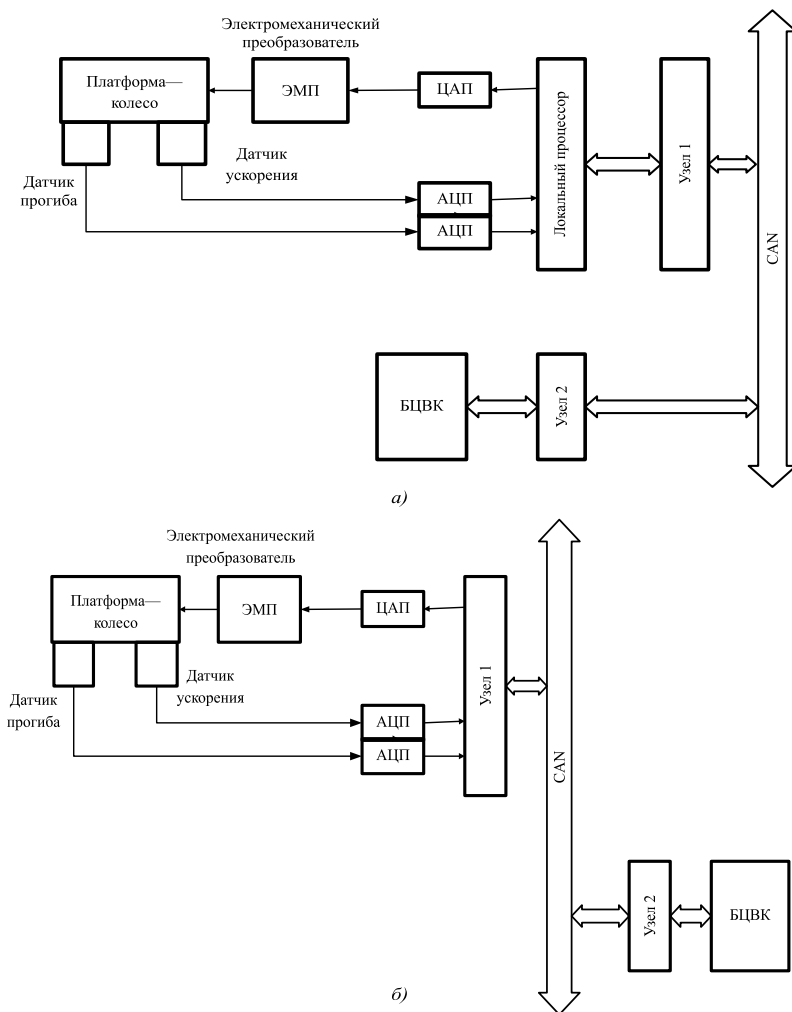


Рис. 7. Блок-схемы реализации системы демпфирования с сетью:
a — в локальном процессоре; *б* — в локальном центральном вычислителе

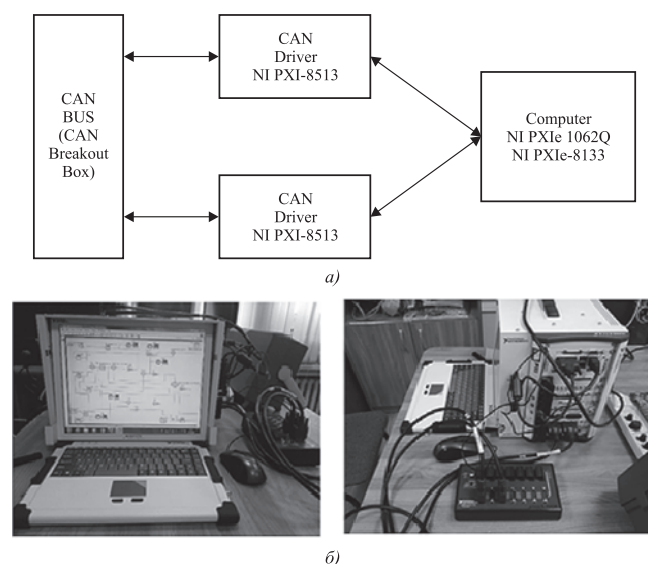


Рис. 8. Общая схема процесса моделирования и соответствующая аппаратура:
a — реальная модель сетевой системы; *б* — контроллер PXIe-8133; *в* — CAN-шина и драйверы

пиальные моменты, связанные включением сети, и проводить моделирование в реальном времени.

На рис. 8 приведена общая структура процесса моделирования для одной пары «платформа—колесо», которая состоит из двух драйверов CAN (двух узлов шины), самой шины CAN и компьютера, в котором выполняется вся обработка, связанная с управлением процессом демпфирования (алгоритм управления и т. д.).

В процессе моделирования используются следующие компоненты:

PXI-8513 — интерфейсный модуль PXI CAN (см. рис. 8, *в*), однопортовый, программный определяемый модуль PXI интерфейса CAN—PXI-8513, является программно настраиваемым интерфейсом локальной сети контроллеров (CAN) для разработки приложений с драйвером NI XNET;

NI XNET — программно настраиваемые интерфейсы для локальной сети контроллеров (CAN), обеспечивают максимальную гибкость при разработке сетей CAN с бортовыми трансиверами, обеспечивающими максимальную скорость/гибкость, безотказность при работе с однопроводной низкоскоростной сетью CAN или внешними трансиверами;

PXIe-8133 — встроенный контроллер PXI (см. рис. 8, *б*), четырёхядерный процессор, 3,06 ГГц, на базе IntelCorei7 для систем PXI и Compact PCI, используется для модульных приборов и оборудования сбора данных, включает порт 10/100/1000 BASE-TX (Gigabit) Ethernet и четыре высокоскоростных порта USB, интегрированный жёсткий диск и другие периферийные устройства ввода-вывода [11, 12]; сеть контроллеров (CAN).

Цель моделирования заключалась, в первую очередь, в выяснении влияния характеристики сети на динамическое поведение всей системы демпфирования. Эксперименты проводились с использованием аппаратуры NI для организации сети 2, но с размещением алгоритма идентификации на локальном процессоре узла. При этом варьировались различные условия проведения экспериментов.

Схема моделирования состоит из двух реальных узлов и реальной шины CAN.

Условия проведения эксперимента:
 время проведения ≈ 30 с;

желаемое значение постоянной времени T_d для промежутка от 0 до 19 с — 0,1 с, для промежутка от 19 до 30 с — 0,065 с (см. рис. 4);

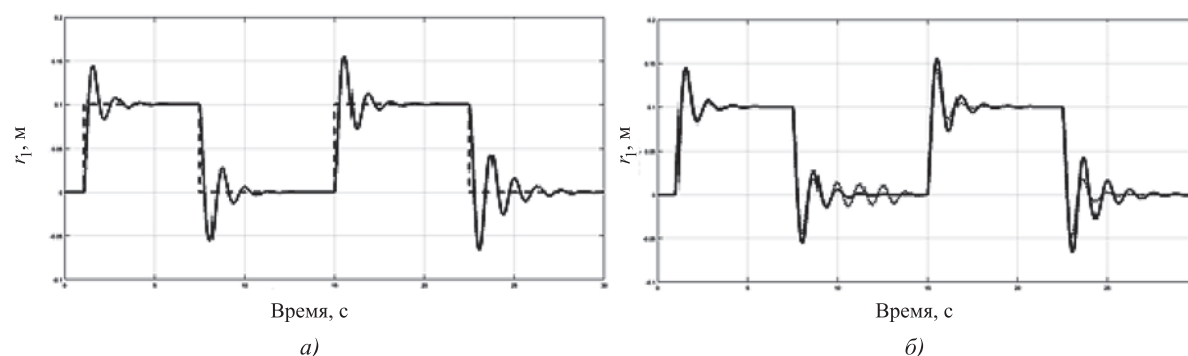


Рис. 9. Вертикальное положение подпружиненной массы r_1 :

a — профиль дороги; --- — реакция системы без сети; b — реакция при скорости сети 500 Кб/с; --- — реакция при скорости сети 125 Кб/с

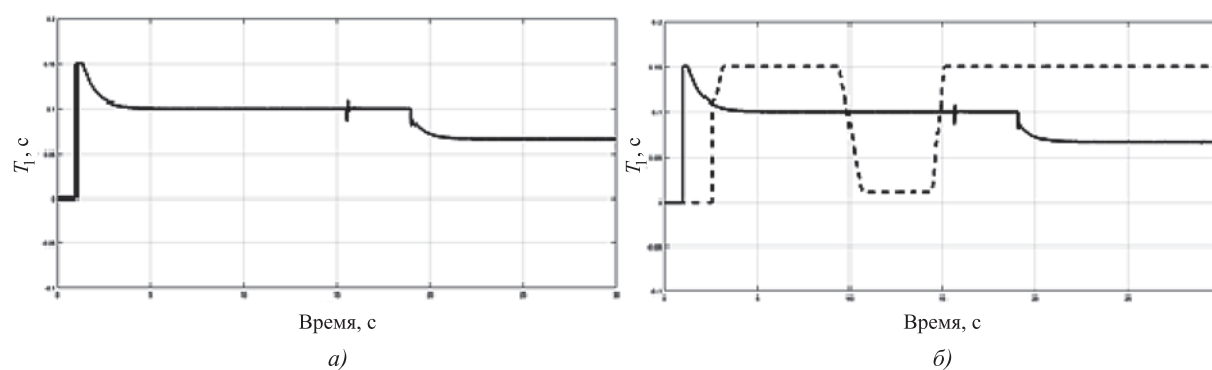


Рис. 10. Изменение (демпфирования) переменной $T_d = d_1/k_1$:

a — $T_d = 0,1$ и $0,065$ с; b — $T_d = 0,1$ и $0,065$ с; — — реакция при скорости сети 500 Кб/с; --- — реакция при скорости сети 125 Кб/с

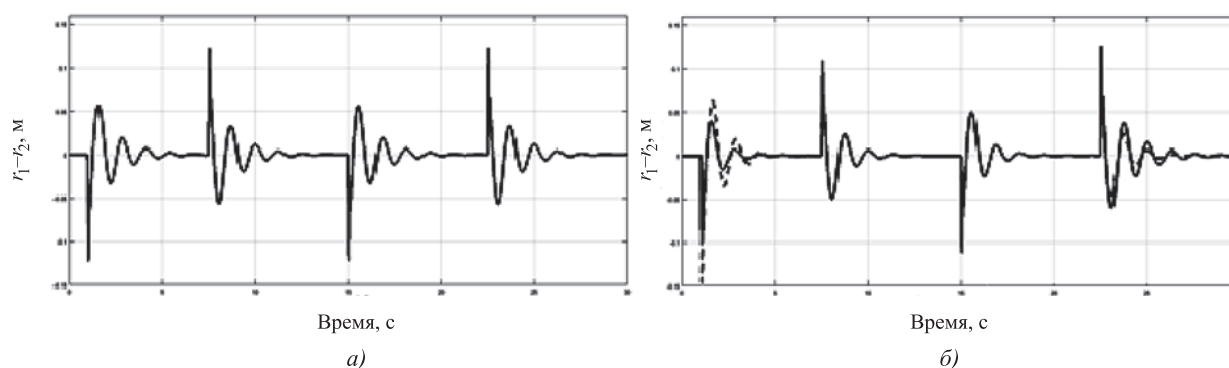


Рис. 11. Прогиб подвески r_1-r_2 :

a — без сети; b — для двух скоростей; — — 500 Кб/с; --- — 125 Кб/с

скорость сети — 500 кб/с (высокая скорость) и 125 кб/с (низкая скорость);

профиль дороги — прямоугольный сигнал с амплитудой 0,1 м и периодом 15 с;

параметр жёсткости k_1 сохраняется постоянным.

На рис. 9, a показаны профиль дороги и изменение вертикального положения r_1 подпружиненной массы для системы без сетевой связи, а на рис. 9, b — перемещение r_1 для се-

тевой системы с двумя разными скоростями сети 500 и 125 кб/с.

На рис. 10, a показано изменение переменной T_d в системе без сети, а на рис. 10, b — изменение переменной T_d для сетевой системы, а также для двух значений скорости сети.

На рис. 11, a показан прогиб подвески $r_1 - r_2$ при отсутствии сети, а для сетевой системы прогиб $r_1 - r_2$ представлен на рис. 11, b для двух скоростей сети.

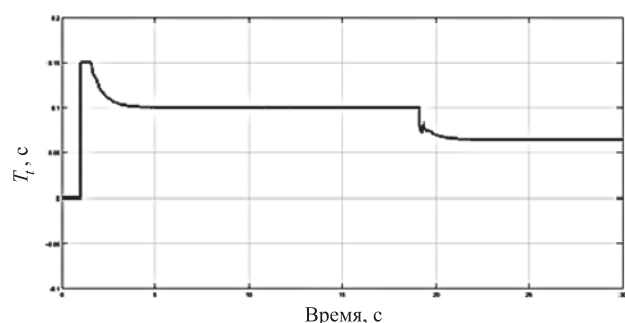


Рис. 12. Изменение демпфирования d_1/k_1 , скорость 125 Кб/с, квант по времени 2 мс

Однако если изменить величину квантования по времени и сделать её равной 2 мс при скорости сети 125 Кб/с, то изменение демпфирования $T_t = d_1/k_1$ станет подобным изменению при скорости 500 Кб/с (см. рис. 10, б и рис. 12).

Заключение. Рассмотрено формирование полуактивной системы демпфирования колёсной машины с использованием сетевой технологии Networked Control для основного узла подвески — пары «платформа—колесо» и с интегральным законом управления.

Предложены два варианта сетевой реализации системы демпфирования для пары «платформа—колесо», отличающиеся местом размещения алгоритмов обработки. Выбор той или иной схемы зависит в большей степени от практических возможностей, ограничений и характеристик имеющейся сети.

Проведено исследование динамических свойств системы демпфирования для пары «платформа—колесо» с использованием физической шины CAN на оборудовании комплекса National Instruments, которое позволило показать влияние характеристик сети на результирующие свойства системы и, тем самым, целенаправленно подойти к выбору параметров сети при сохранении желаемых динамических свойств всей системы демпфирования.

Библиографические ссылки

1. **Siswoyo H.N., Ali M.H.** Design and development of a semi-active suspension system for a quarter car model using PI controller // Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems. 2017. Vol. 11.
2. **Qazi A.J., Afzal K., Sahar N.** A parametric study on performance of semi-active suspension system with

variable damping coefficient limit // AASRI Procedia 4. 2013. Vol. 4. P. 154—159.

3. **Poussot-Vassal C.S., Sename O., Savaresi S.M., Dugard L.** Survey and performance evaluation on some automotive semi-active suspension control methods // A comparative study on a single-corner model: Annual Reviews in Control. 2012. No. 1. Vol. 36(1). P. 148—160.

4. **Mihai I., Andronic F.** Behavior of a semi-active suspension system versus a passive suspension system on an uneven road surface // Mechanics. 2014. No. 1. Vol. 20(1).

5. **Жилейкин М.М., Федотов И.В.** Алгоритм комплексного оптимального управления демпфированием в подвеске колесных машин // Известия вузов «Машиностроение». 2017. № 7. С. 46—52.

6. **Жилейкин М.М.** Повышение быстроходности многоосных колёсных машин путём адаптивного управления упругодемпфирующими элементами системы поддрессоривания: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2012.

7. **Jollo P.H., Payan N., Yonggang Xu.** A Survey of recent results in networked control systems, Proc // IEEE. 2007. Vol. 95. No. 1. P. 138—162.

8. **Rachana A.G., Mo-Yuen C.** Network control systems // IEEE Trans. 2010. Vol. 57. No. 7. P. 2527—2535.

9. **Espinoza A.A., Tudon-Martinez J.C., Morales-Mendez R.** Analysis of On/Off Controllers of a Semi-Active Suspension in a CAN // IFAC Proceedings Volumes. 2014. Vol. 47(3).

10. **Perişoară L.A., Alexandru V., Dragos Loan Săcăleanu.** Vehicles diagnosis based on LabVIEW and CAN interfaces / IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME). IEEE, 2017, oct 26. P. 383—386.

11. **Lian F.Li, Moyné J., Tilbury D.** Network design consideration for distributed control systems // IEEE Transactions on Control Systems Technology 10. 2002. No. 2. P. 297—307.

12. **Johansson K.H., Martin T., Nielsen L.** Vehicle applications of controller area network / Handbook of networked and embedded control systems, 2005. Boston. P. 741—765.

13. **Румянцев Г.Н., Лобусов Е.С.** Имитатор траектории движения наземного аппарата // Труды ФГУП «НПЦАП». 2016. № 3(37). С. 51—67.

14. **Спиди К., Браун Р., Гудвин Дж.** Теория управления (идентификация и оптимальное управление)/ пер. с англ. М.: Мир, 1973. 248 с.

15. **Лобусов Е.С., Юнесс С.** Алгоритм оценки степени демпфирования колесной машины // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 5. С. 199—206.

Ссылка для цитирования

Лобусов Е.С., Юнесс С. Исследование функционирования сетевой полуактивной системы демпфирования колёсной машины // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 21—28. DOI: 10.36652/0869-4931-2021-75-1-21-28.

Уважаемые читатели!

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

УДК 004.942+625.7

Е.В. Чирков

(Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова),

А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф., **А.О. Боровлев**, **В.С. Прокопец**

(Воронежский государственный университет инженерных технологий),

И.А. Высоцкая, канд. физ.-мат. наук

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

i.a.trishina@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

На основе экспериментального исследования рассмотрены основные методы автоматизированного проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог и определены области их применения. Описана интеллектуальная информационная система автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: методы проектирования; системы автоматизированного проектирования.

The main methods of computer-aided design of the route of timber-carrying roads on the basis of an experimental study are considered and their areas of application are determined. An intelligent information system for the computer-aided design of timber-carrying highways is described.

Keywords: design methods; computer-aided design systems.

Введение. Задачами экспериментального исследования основных методов автоматизированного проектирования трассы [1—3] являются:

доказательство возможности и целесообразности их применения при проектировании лесовозных автомобильных дорог;

определение области наиболее эффективного применения методов на основании проектирования опытных участков лесовозных автомобильных дорог в различных условиях;

разработка рекомендаций по назначению характеристик, влияющих на функционирование предложенных методов;

оценка экономической эффективности предлагаемых методов и технологий.

Алгоритм и программа, реализующие метод опорных элементов [1], проверены экспериментально на контрольных примерах и реальных объектах. В результате этой работы выявлены наиболее целесообразные области применения различных групп расчётных схем, отработана методика автоматизированного проектирования.

Экспериментальное сравнение алгоритмов нелинейного программирования для проектирования трассы лесовозных автомобильных дорог.

При экспериментальном сравнении алгоритмов нелинейного программирования для проектирования трассы лесовозных автомобиль-

ных дорог рассмотрены: метод скользящего допуска, метод на основе идеи наискорейшего спуска и метод покоординатного спуска [3].

Для оценки указанных методов использованы следующие показатели: надёжность в достижении оптимального решения (в пределах заданной точности), точность выполнения ограничений и машинное время для реализации алгоритма.

Сравнение алгоритмов в значительной степени затрудняется наличием в каждом методе особенностей: принятого критерия окончания процесса оптимизации, некоторых начальных специфических характеристик каждого метода (например, в методе скользящего допуска — величина, определяющая размер деформируемого многогранника в исходной фазе поиска, в методе наискорейшего спуска — величина λ , параметра, задающего длину шага оптимизационного поиска по направлению антиградиента и др.).

Эксперименты выполнены на трёх контрольных примерах с различными нормативами и известным решением, которое необходимо для оценки точности результата. Сначала для каждого метода определялись значения начальных характеристик, обеспечивающие минимальное время счёта при одинаковом критерии окончания процесса оптимизации.

Так как каждый метод имеет несколько начальных характеристик, то выбор наилучшего их сочетания весьма затруднён. Поэтому на данном этапе учитывались лишь основные факторы, наиболее значительно влияющие на время счёта. На рис. 1 приведён пример выбора начального значения λ по зависимости

$$T = f(\lambda),$$

где T — время счёта, мин; λ — параметр, задающий длину шага в методе наискорейшего спуска.

Для последующего сравнительного анализа использованы данные расчётов со значениями λ_1 , λ_2 и λ_3 для 1, 2 и 3-го участков соответственно.

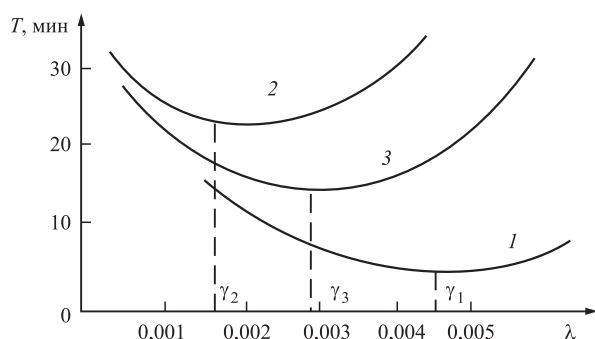


Рис. 1. Зависимости времени счёта от λ 1, 2 и 3-го участков
Результаты сравнения методов нелинейного программирования

Номер программы	Метод	Кол-во участков	Кол-во удовлетворительных решений
1	Метод скользящего допуска	3	1
2	Метод на основе идеи наискорейшего спуска	3	3
3	Метод покоординатного спуска	3	3

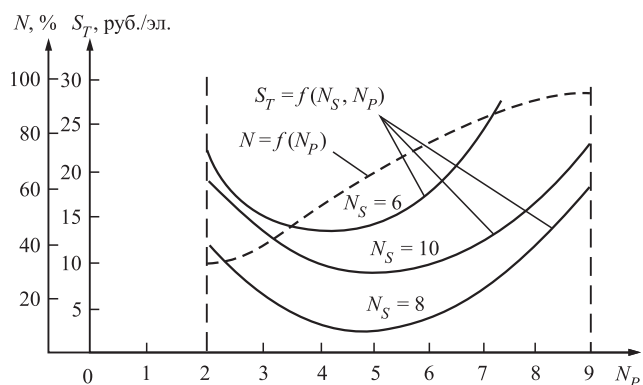


Рис. 2. Результаты эксперимента по установлению оптимальных границ сегментов

Результаты экспериментального сравнения трёх программ, реализующих различные алгоритмы нелинейного программирования, приведены в таблице.

По первой программе на 1-м и 3-м участках не было достигнуто нужное решение ввиду недостаточной надёжности метода скользящего допуска (в дальнейшем не рассматривается). Вторая и третья программы в этом эксперименте показали близкие характеристики.

Рассмотрим посегментный расчёт трассы. Рекомендации по назначению границ сегментов получены на основе эксперимента. В качестве зависимых переменных в нём приняты: N_S — число переменных на сегменте; N_P — число переменных на участке перекрытия сегментов.

На рис. 2 приведены зависимости $S_T = f(S_T, N_P)$, где S_T — стоимость проектирования опытного участка, включая затраты на машинное время и работу по проектированию опытного участка. На основе анализа зависимостей $S_T = f(N_S, N_P)$ рекомендуется принимать значения $N_S = 8$, $N_P = 5$.

Существует несколько способов формирования исходного приближения трассы с различными технико-экономическими показателями. Последовательность элементов трассы, в пределах которой осуществляется оптимизация геометрических характеристик, устанавливаемая исходным приближением, может определять результат автоматизированного проектирования в целом. Поэтому одним из основных критериев оценки способов формирования исходного приближения является надёжность получения удовлетворительного решения, которая определялась по формуле

$$N = \frac{K_{yc}}{K_{об}} 100\%,$$

где N — надёжность, %; K_{yc} — количество успешных расчётов; $K_{об}$ — общее количество расчётов.

Выбор последовательности элементов трассы частично обусловлен субъективными факторами, поэтому оценка полученных решений производилась группой экспертов в составе одного главного специалиста отдела, двух главных инженеров проекта и одного руководителя бригады. Эксперимент проводился на трёх участках трассы, состоящих из двадцати сегментов.

На основе анализа результатов экспериментальных исследований проектирования реальных объектов более эффективным признан полуавтоматический способ формирования исходного приближения с корректировкой последовательности элементов трассы в режиме диалога.

В методе оптимизации трассы можно рассмотреть различные модели критерия оптимальности. Для обоснования возможности применения этих моделей проведено экспериментальное исследование их точности. В целях установления значимости различных составляющих критериев, влияющих на выбор положения трассы, проведён анализ проектов.

Если единовременные затраты являются одноэтапными, а текущие растут по одному закону (линейному или по сложным процентам) в течение всего срока службы, то величина суммарных приведённых затрат стоимости строительства трассы определяется по формуле

$$P_{\text{пр}} = K + \frac{C}{E_n}, \quad (1)$$

где K — единовременные затраты; C — величина текущих годовых затрат расчётного года эксплуатации; E_n — нормативный коэффициент эффективности для уравнения вариантов.

Исследование структуры критерия (1) показало, что основные его затраты можно систематизировать в четыре вида [4]: K_1 — затраты, пропорциональные длине трассы в пределах определённого участка (1-й вид); K_2 — затраты по сосредоточенным объектам (2-й вид); K_3 — линейно изменяющиеся в пределах определённого участка удельные затраты на 1 м дороги (3-й вид); K_4 — прочие затраты (4-й вид).

Тогда

$$P_{\text{пр}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4. \quad (2)$$

С применением численных методов длина трассы на участке может быть определена с любой заранее заданной точностью с учётом криволинейности трассы. В данном случае функция длины трассы на i -м участке $L_i = f(X)$ не выпуклая, поэтому этот способ используется только для оценки точности моделей.

Допустим, что коэффициенты удлинения трасс K_y на участке между смежными поперечными сечениями для базовой и оптимизируемой трасс одинаковы:

$$K_y = \frac{L_{Bi}}{L_{PBi}} = \frac{L_i}{L_{Pi}}. \quad (3)$$

Тогда значение L_i может быть определено по приближённой формуле [6]

$$L_i = K_y L_{Pi} \approx K_y \left[L_{Bi} - Z_i \sin \varphi_i - Z_{i+1} \sin \varphi_{i+1} + \frac{0,5(Z_i + Z_{i+1})^2}{L_{PBi}} \right]. \quad (4)$$

Относительная ошибка вычисления длины трассы на i -м участке L_i составит

$$\delta_L = \delta_K + \delta_p, \quad (5)$$

где δ_L — относительная ошибка определения L_i ; δ_K — относительная ошибка за счёт допущения (3); δ_p — относительная ошибка определения L_{Pi} .

В подавляющем большинстве случаев граница затрат 1-го вида совпадает с осью Z_i , поэтому сначала оценим величины ошибок, которые могут быть именно в этом случае.

Максимальное значение δ_K может быть определено из условия, что круговая кривая на i -м участке трансформируется в процессе оптимизации в прямую или наоборот. В этом случае

$$\delta_{K \max} = \frac{L_i - L_{Pi}}{L_i} 100 \% = \frac{K-1}{K} 100 \%;$$

$$K = \frac{R\varphi}{2R \sin \frac{\varphi}{2}} = \frac{\varphi}{2 \sin \frac{\varphi}{2}},$$

где φ — центральный угол круговой кривой, $\varphi = |\varphi_{i+1} - \varphi_i|$.

Тогда

$$\delta_{K \max} = \left(1 - \frac{2 - \sin \frac{\varphi}{2}}{\varphi} \right) 100 \%. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что трассу всегда можно так разбить на участки, что будет обеспечена любая заранее заданная точность. Например, при $\varphi = 20^\circ$ (что вполне приемлемо из практических соображений) $\delta_{K \max} = 0,6 \%$.

Оценим возможную ошибку δ_p :

$$\delta_p = \frac{|L_{Pi} - \overline{L_{Pi}}|}{L_{Pi}} 100 \%,$$

где L_{Pi} — длина, определяемая точно; $\overline{L_{Pi}}$ — длина, определяемая по формуле (2).

На основе анализа формул (3) и (4) можно сделать вывод, что погрешность формулы (4) зависит, в основном, от двух факторов: величины углов φ_i и φ_{i+1} и угла наклона оптимизируемой трассы к базовой.

На рис. 2 показана зависимость $\delta_p = f\left(\varphi_i; \frac{Z_{i+1} - Z_i}{L_{Pbi}}\right)$ при $\varphi_{i+1} = 2\pi - \varphi_i$. Аналогичные графики были построены для различных комбинаций Z_i , Z_{i+1} , φ_i , φ_{i+1} , L_{Pb} , которые мо-

гут встречаться в практике проектирования. Их анализ показал, что максимальная относительная ошибка при определении L_{pi} может быть 1,5 %. Тогда полная максимальная относительная ошибка определения длины оптимизируемой трассы на i -м участке $\delta_{L_{max}}$ по формуле (5) составит 2,1 %. Опыт проектирования трассы показывает, что протяжённость участков, на которых границы 1-го вида не совпадают, не превышает 15 % от общей длины трассы. Тогда максимальная относительная ошибка при определении затрат 1-го вида $\delta_{L_{max}}$ составит 2,3 %.

Из приведённого анализа следует, что формула (3) с точки зрения обеспечения требуемой точности применима для определения составляющей K_1 .

Максимальная относительная ошибка вычисления значения целевой функции $\delta_{ppr \max}$ определяется с учётом формулы (2):

$$\delta_{ppr \max} = \frac{|\delta_{1\max}|Q_1 + |\delta_{2\max}|Q_2 + |\delta_{3\max}|Q_3}{100},$$

где $\delta_{1\max}$, $\delta_{2\max}$, $\delta_{3\max}$ — максимальные относительные ошибки определения затрат 1, 2 и 3-го видов; Q_1 , Q_2 , Q_3 — процентное содержание затрат 1, 2 и 3-го видов от величины критерия.

Интеллектуальная информационная система автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог. Возросшие требования к технико-экономической обоснованности проектных решений, безопасности движения и зрительной плавности лесовозных автомобильных дорог обуславливают необходимость поиска положения трассы в пространстве как единой комплексной задачи.

Процесс проектирования лесовозных автомобильных дорог представляет определённую технологическую последовательность проектных операций. При этом результаты одной из них используют как входные данные для других проектных операций. Это определило необходимость и целесообразность перехода к созданию интеллектуальной информационной системы автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог (ИИСП-ЛАД), в которой все программы связаны единым информационным обеспечением [2, 3].

ИИСП-ЛАД представляет собой совокупность методического, программного, информационного и технического обеспечения и предназначена для выполнения проектно-исследовательских работ на различных стадиях и этапах проектирования лесовозных автомобильных дорог общего пользования сред-

ствами автоматизированного проектирования с использованием новой, соответствующей этим средствам, технологии [2]. В ИИСП-ЛАД реализован поэтапный подход к решению этой задачи путём проработки вариантов трассы в плане и проектирования по ним оптимального продольного профиля.

Комплексная оценка вариантов трассы осуществляется на основе анализа технико-экономических показателей, получаемых с использованием компонентов ИИСП-ЛАД. В зависимости от стадии и этапа проектирования могут быть получены следующие показатели и документы: суммарные приведённые затраты (с разбивкой по видам и участкам), экономическая эффективность капитальных вложений, графики скоростей и коэффициентов безопасности движения, графики пропускной способности, графики видимости, перспективные изображения и др.

На основе анализа полученных технико-экономических показателей выбирают лучший вариант методики автоматизированного проектирования трассы в плане, который следует рассматривать как часть комплексной задачи проектирования лесовозной автомобильной дороги в пространстве. Можно применить несколько технологических схем автоматизированного проектирования трассы [3, 5] в зависимости от следующих факторов:

- стадийности проектирования;
 - категории и назначения проектируемой лесовозной автомобильной дороги;
 - природных условий района проложения трассы, в частности обуславливающих целесообразность использования тех или иных методов автоматизированного проектирования трассы в плане;
 - обеспеченности объекта топографическими материалами или материалами аэрофотосъёмки;
 - протяжённости проектируемой дороги;
 - ограничений по продолжительности и сезонности проектно-исследовательских работ;
 - технологических возможностей комплекса технических средств и программного обеспечения;
 - степени подготовленности ИТР и др.
- Основными принципами предлагаемой методики автоматизированного проектирования трассы являются:
- комплексность автоматизации проектно-исследовательских работ с использованием современных информационных технологий, применением беспилотных летательных аппаратов и приборов с автоматической регистрацией измерений на машинных носителях;

широкое применение математических методов оптимального проектирования;

применение многовариантного проектирования при невозможности или нецелесообразности применения методов оптимизации;

широкое использование крупномасштабных топографических материалов и материалов геоинформационных систем для целей трассирования;

рациональное распределение функций между проектировщиком и средствами вычислительной техники, обеспечение оперативности автоматизированного проектирования за счёт реализации диалогового режима.

Заключение. Проведённые исследования свидетельствуют о возможности использования предложенной методики автоматизированного проектирования для решения поставленных задач.

По каждому перспективному направлению осуществляют предварительное трассирование эскизного варианта и устанавливают границы варьирования по фотосхеме с использованием информационных технологий. Затем для сложных участков формируют зону варьирования в виде поперечников, перпендикулярных к эскизному варианту трассы. Обработка материалов ведётся по маршрутам (или несколькими параллельным маршрутам блокам) путём последовательного наблюдения отдельных стереопар.

Далее осуществляют контроль наблюдений и аналитическая фототриангуляция маршрута. В случае необходимости отдельные стереотипы могут пересматриваться. С помощью специального программного обеспечения вносятся коррективы в исходные массивы, после чего снова производится аналитическая фототриангуляция маршрута. На отдельные сложные участки могут быть вычерчены планы трассы в горизонталях по материалам аэрофотосъёмки с использованием беспилотных летательных аппаратов.

На графопостроителе вычерчиваются продольные профили земли по эскизным вариантам трассы и проводится их сравнение. Для отобранных вариантов формируется рабочий файл координат последовательности точек элементов трассы и осуществляется её расчёт по методу аппроксимации последовательности точек. При необходимости намечаются, рассчитываются на компьютере и вычерчиваются дополнительные варианты трассы. По рассчитанной трассе и вариантам на компьютере вычисляются [7] и вычерчиваются продольные и при необходимости поперечные профили земли.

Анализируя полученные результаты, проектировщик может внести коррективы в план трассы и продольный профиль, добиваясь решения, удовлетворяющего всем требованиям.

По принятому варианту с применением интеллектуальной информационной системы рассчитывают данные для детальной разбивки трассы, с использованием которых осуществляют вынос её в натуру. Предложенная технология трассирования увязана с решением смежных проектно-изыскательских задач и с принятой системой проектирования.

Библиографические ссылки

1. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Belyaev A.N., Chernyshova E.V. Theoretical foundations of the method of designing a clothoid track with approximation of succession of points // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 726. P. 654—667.

2. Борисов В.А., Камусин А.А., Скрыпников А.В., Дорохин С.В. Программа оценки и прогнозирования эксплуатационных свойств асфальтобетона при устройстве дорожных покрытий лесовозных автомобильных дорог // Свид-во о регистрации программы для ЭВМ. RUS 2014618507.2014.

3. Буданов А.В., Чертов Е.Д., Скрыпников А.В., Котов Г.И. Математические методы моделирования поиска принципов действия технических систем // *Вестник Воронежского гос. ун-та инженерных технологий*. 2016. № 3 (69). С. 110—115.

4. Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Саблин С.Ю., Высоцкая И.А. Информационная модель зоны варьирования трассы лесовозной автомобильной дороги // *Автоматизация. Современные технологии*. 2020. Т. 74. № 12. С. 538—542.

5. Бурмистров Д.В. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // *Лесной вестник*. 2018. Т. 22. № 5. С. 69—76.

6. Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // *Автоматизация. Современные технологии*. 2017. Т. 71. № 9. С. 429—432.

7. Губарев В.Ю. Повышение безопасности движения автомобилей и автопоездов по дорогам в районах лесозаготовок // *Международный журнал экспериментального образования*. 2012. № 2. С. 76—77.

Ссылка для цитирования

Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Прокопец В.С., Высоцкая И.А. Экспериментальное исследование методов автоматизированного проектирования трассы лесовозной автомобильной дороги // *Автоматизация. Современные технологии*. 2021. Т. 75. № 1. С. 29—33.



УДК 681.5

М.Б. Пименова, К.В. Парфентьев

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

pimenovamb@student.bmstu.ru; parfentiev@bmstu.ru

**ОБНАРУЖЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В КАДРЕ
ПО МЕТОДУ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ЛУКАСА—КАНАДЕ**

Описан процесс определения направления движения объектов с использованием метода вычисления оптического потока Лукаса—Канаде на съёмке в режиме реального времени. Выявлены основные преимущества и недостатки рассмотренного подхода. Повышенная чувствительность к изменениям освещённости сцены и резким сдвигам объекта в кадре свидетельствуют о необходимости дальнейшей модификации алгоритма и повышения его надёжности посредством использования частных производных более высокого порядка или комбинирования метода с другими алгоритмами. Описан иерархический подход, основанный на построении гауссовой пирамиды масштабов. Указаны перспективные направления развития и области применения метода Лукаса—Канаде.

Ключевые слова: метод Лукаса—Канаде; оптический поток; компьютерное зрение; видеотрекинг; multi-scaling; пирамида Гаусса; детектирование.

The determining process of the objects movement direction by using the calculation method of the Lucas—Kanade optical flow when shooting in real time is described. The main advantages and disadvantages of the considered approach are revealed. The increased sensitivity to changes in the illumination of the scene and abrupt shifts of the object in the frame indicate of the need for further modification of the algorithm and increase its reliability by using higher order partial derivatives or combining the method with other algorithms. A hierarchical approach based on the construction of a Gaussian scale pyramid is described. The promising directions of development and application areas of the Lucas—Kanade method are indicated.

Keywords: Lucas—Kanade method; optical flow; computer vision; video tracking; multi scaling; Gaussian pyramid; detection.

Введение. В современных приложениях различного профиля всё более актуальными становятся задачи определения соответствия между кадрами в видеопотоке, обнаружения и отслеживания заданного объекта на сцене или в видеопоследовательности. В области компьютерного зрения проводятся исследования, тесно связанные с задачами трекинга объекта/групп объектов, мониторинга окружающей обстановки с использованием современной видеоаппаратуры, сопоставления и кластеризации полученных данных.

С развитием информационных технологий возник целый класс задач, связанных с детектированием движения в видеопотоке, в том числе и в режиме реального времени. Кроме того, в ряде прикладных задач широко применяются детерминированные методы видеоаналитики [1] для слежения за выделенным объектом интереса. К таким задачам относятся сопровождение и регистрация номерных

знаков транспортных средств при видеонаблюдении [2], оценка скорости перемещения объектов [3], распознавание жестов людей на видеозаписи [4], идентификация личности [5], создание панорам [6], программная стабилизация видеосъёмки [7], локализация и считывание текстовых символов на смешанном фоне [8] и др.

Технология компьютерного зрения, позволяющая на основании анализа последовательности изображений, поступающих с видеокамер в режиме реального времени или из архивных записей, осуществлять автоматизированное получение различной целевой информации, получила название видеоаналитика. Компьютерное зрение обладает широким функционалом в плане оценки и измерения различных параметров изображённых объектов и их элементов (линейные размеры, кривизна, площадь и т. д.). Под задачей обнаружения динамических объектов понимается

локализация изменяющихся фрагментов изображения в последовательности кадров.

Детерминированные методы подразумевают, что двумерная проекция объекта слежения характеризуется неизменяемыми во времени признаками. К классу детерминированных подходов относят методы поиска оптического потока, поиска по шаблону (тестовому изображению) и методы детектирования ключевых точек. Методы вычисления оптического потока (от англ. optical flow) базируются на определении движения фрагментов снимка и построении векторного поля скоростей выделенных пикселей. При этом необходимо, чтобы яркость каждой точки объекта оставалась постоянной, а точки, принадлежащие области объекта, двигались с приблизительно одинаковой скоростью. В данной работе рассматривается детерминированный метод вычисления оптического потока Лукаса—Канаде [9], заключающийся в определении смещения точек объекта на соседних изображениях. Алгоритм метода Лукаса—Канаде может применяться для поиска и слежения за движущимися объектами в реальном масштабе времени, стабилизации видеозаписи или сжатия видеоданных.

Понятие оптического потока. Оптический поток — это представление видимого движения выделенных объектов или их фрагментов на сцене, получаемое в результате перемещения оптического сенсора относительно сцены. Двумерная проекция трёхмерного поля физического движения точек поверхностей объектов сцены называется полем движения [10]. Технологии, связанные с использованием оптического потока, широко применяются в различных областях компьютерного зрения для сегментации изображений, разметки объектов, определения сдвигов, скорости перемещения и сжатия видеоданных. Определение и фиксирование в кадре видеопоследовательности текущего положения объекта, перемещающегося в пространстве в режиме реального времени, путём анализа оптического потока данных называется трекингом (от англ. tracking — слежение).

В сущности сдвиг каждой точки между соседними кадрами эквивалентен мгновенной скорости, в связи с чем можно сделать вывод, что оптический поток отражает поле скоростей. Для каждой точки изображения $A(x, y, t)$ с известной интенсивностью находится такой сдвиг (dx, dy) , чтобы исходной точке через промежуток времени dt соответствовала некоторая точка на втором изображении $B(x + dx, y + dy, t + dt)$. Для определения соответствия точек необходи-

мо задаться некоторой функцией точки, которая сохраняется в процессе смещения. Принято считать, что у выбранной точки изображения за малый промежуток времени не изменяется интенсивность. Кроме того, в качестве рассматриваемой характеристики можно выбрать величину градиента, значение определителя гессиана, лапласиана и т. д. Следует отметить, что сохранение интенсивности возможно только в случае постоянства освещённости сцены.

Существуют два варианта расчёта оптического потока: плотный (от англ. dense) и разреженный (от англ. sparse). В то время как «dense»-поток вычисляет сдвиг всех точек кадра, «sparse»-поток определяет смещение только отдельных детектированных ключевых точек. Очевидно, что «sparse»-поток рассчитывается быстрее, однако для некоторых задач требуется определять оптический поток для всех точек изображения.

Условия применимости. Для решения задачи детектирования областей движения исследуем математическую модель оптического потока в предположении, что интенсивность рассматриваемой точки в результате сдвига не изменяется.

Основные условия применимости вычисления оптического потока:

сохранение яркости всех точек снимка с течением времени;

схожесть скоростей движения близко расположенных друг к другу точек, принадлежащих одному объекту / фрагменту изображения.

Пусть имеется непрерывно изменяющееся во времени изображение, $I = I(x, y, t)$ — яркость пикселя с координатами x, y в момент времени t . Для определения яркости пикселя в следующий момент времени воспользуемся разложением функции положения и времени в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} I_{t+\Delta t}(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) = \\ = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \Delta t + \\ + R_n(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t), \end{aligned}$$

где $\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y}, \frac{\partial I}{\partial t}$ — частные производные функции I по координатам и времени соответственно; $R_n(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$ — остаточный член разложения.

Далее полагаем, что за незначительный промежуток времени пиксель смещается на пренебрежимо малую величину, т. е. $\Delta x, \Delta y \rightarrow 0$

при $\Delta t \rightarrow 0$, следовательно интенсивность пикселя практически не изменяется ($I_1 = I_2$). Таким образом, можно пренебречь остаточным членом ряда:

$$I_{t+\Delta t}(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \approx I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \Delta t.$$

На основании изложенного получаем уравнение оптического потока

$$\frac{\partial I}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \Delta t = 0.$$

Дальнейшей задачей является построение вектора скорости

$$V = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right) = (V_x, V_y).$$

Исходная задача сводится к минимизации квадратичной ошибки

$$\left(\frac{\partial I}{\partial x} V_x + \frac{\partial I}{\partial y} V_y + \frac{\partial I}{\partial t} t \right)^2 \rightarrow \min$$

при условии гладкости функции изменения скорости. Описанная процедура минимизации применяется ко всем пикселям кадра, что позволяет построить поле векторов смещения.

Сопровождение объектов, основанное на вычислении оптического потока. Ключевым критерием, характеризующим эффективность работы трёхмерной системы оценки деформации методом корреляции цифровых изображений, является точность (включая помехоустойчивость) определения оптического потока [11]. Однако такие системы, как правило, должны работать в режиме реального времени, поэтому требуется снижение вычислительных затрат, что может быть достигнуто за счёт применения более простых алгоритмов расчёта перемещений либо использования аппарата параллельных вычислений [12].

Рассматриваемый алгоритм, основанный на вычислении разреженного оптического потока, был предложен в 1981 г. Брюсом Лукасом и Такео Канаде. Задача сопровождения, решаемая с помощью метода Лукаса—Канаде, сводится к поиску оптического потока в ключевых точках.

Алгоритм Лукаса—Канаде подразумевает, что вычисленное значение оптического потока в локальной окрестности каждого пикселя неизменно. В окне с центром в определённом пикселе с помощью метода наименьших квадратов минимизируется суммарная погрешность с весовыми коэффициентами так, чтобы наибольший вес имели пиксели, находящиеся ближе всего к исследуемому. Тогда вектор оптического потока (V_x, V_y) для центрального пикселя окна определяется по формуле

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i,j} \omega(i,j) I_x(x_i, y_j)^2 dx & \sum_{i,j} \omega(i,j) I_x(x_i, y_j) I_y(x_i, y_j) dy \\ \sum_{i,j} \omega(i,j) I_x(x_i, y_j) I_y(x_i, y_j) dx & \sum_{i,j} \omega(i,j) I_y(x_i, y_j)^2 dy \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum_{i,j} \omega(i,j) I_x(x_i, y_j) I_t(x_i, y_j) dt \\ -\sum_{i,j} \omega(i,j) I_y(x_i, y_j) I_t(x_i, y_j) dt \end{bmatrix},$$

где x, y — координаты пикселей внутри окна; $I_x(x_i, y_j), I_y(x_i, y_j), I_t(x_i, y_j)$ — частные производные изображения I по координатам x, y и времени t , вычисленные в точке (x_i, y_j) ; ω_i — веса, определяющиеся как нормальное гауссово распределение расстояния между центральным и текущим пикселем окна.

Таким образом, получаем систему из двух уравнений с двумя неизвестными, которая при равенстве детерминанта нулю может иметь бесконечное число решений или не иметь ни одного. Данная проблема неоднозначности определения сдвига при ограниченном поле зрения для циклически повторяющихся фрагментов изо-

бражения получила название aperture problem. Для её устранения необходимо осуществлять контроль степени малости детерминанта по заданному пороговому значению.

Широко распространён приём multi-scaling — построение «пирамиды» разномасштабных изображений (чаще всего берётся масштабирование в два раза по каждой оси) и прохождение по ним оптическим потоком от верхнего уровня к нижнему, тогда детектированный маленький (не более одного-двух пикселей) сдвиг на верхнем уровне будет соответствовать уточнённому большому сдвигу на нижнем изображении (рис. 1). Применение



Рис. 1. Пирамида Гаусса для иерархического подхода к вычислению оптического потока

пирамидальной структуры данных позволяет сократить в разы количество обрабатываемых точек и снизить затрачиваемое время.

На некоторых фрагментах изображения (к примеру, на границах объектов или в шумовых точках) интенсивность может резко изменяться, не подчиняясь явным закономерностям. В этом случае никакая функция не сможет довольно точно описать изменения изображения в окрестности точки. Частично с этой проблемой справляется размытие изображения (усреднение с весовыми коэффициентами или равномерное усреднение по окну).

К недостаткам метода определения направления движения объектов Лукаса—Канэде можно отнести его неустойчивость к изменению освещённости сцены, чувствительность к резкому сдвигу объекта в кадре (точность работы алгоритма, обусловленная использованием только первых частных производных, зависимость от величины смещения точек изображения).

Реализация метода Лукаса—Канэде в среде MatLab. Результат вычисления оптического потока методом Лукаса—Канэде с использованием библиотеки Computer vision system toolbox для двух выходных изображений (рис. 2) представлен на рис. 3.



Рис. 2. Пара входных изображений

Кадры, представленные на рис. 4, взяты из видеосъёмки с изображением квадрокоптера. Визуализируем направление движения объекта (рис. 5, б), предварительно определив на изображении угловые точки (рис. 5, а). Направление движения, показанное длинными стрелками, явно выражено и указывает на вертикальный спуск квадрокоптера. Из-за дрожания камеры на изображении также присутствуют короткие стрелки, отражающие смещение фона сцены.

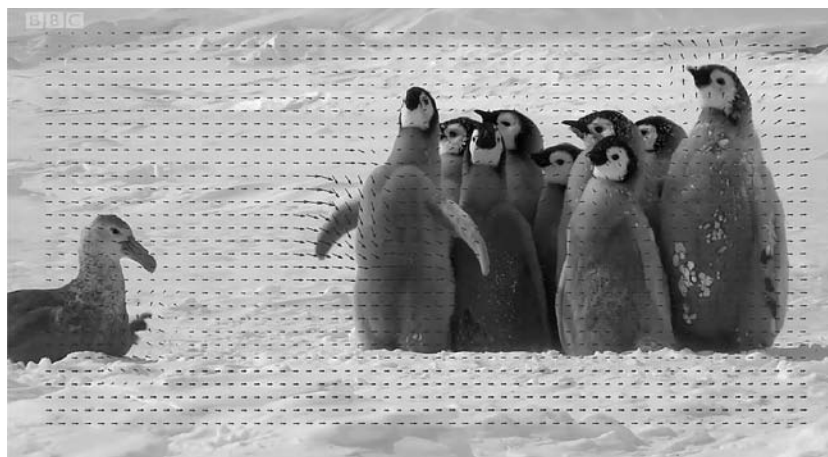


Рис. 3. Результат вычисления оптического потока



Рис. 4. Кадры съёмки с изображением квадрокоптера



Рис. 5. Разметка угловых точек (а) и результат определения направления движения объекта (б)

Об эффективности данного метода стоит говорить только при условии, что верны предположения о постоянстве цвета и отсутствии движения соседних пикселей относительно центрального пикселя окна. Существуют различные модификации данного алгоритма, сочетающие итеративные подходы к решению системы линейных уравнений (Томаси—Канаде) и учитывающие аффинные искажения (Ши—Томаси—Канаде), а также изменение освещенности (Джин—Фаваро—Соатто). К аффинным преобразованиям относятся масштабирование, сжатие/растяжение и поворот.

Заключение. В статье подробно описан процесс вычисления оптического потока для выявления направления движения объектов в пределах соседних кадров видеопоследовательности. Визуализированы полученные с помощью метода Лукаса—Канаде локальные векторы ориентации перемещающихся точек сцены. Указаны условия применимости оптического потока в задачах распознавания и трекинга объектов, представлены результаты проведенных экспериментов и даны пояснения к ним. Рассмотренный алгоритм Лу-

каса—Канаде может быть использован для решения задач распознавания объектов и поиска в базе данных изображения, наиболее похожего на поданное на вход системы, а также анализа последовательности изображений, поступающих с видеокамер в режиме реального времени или взятых из архивных записей. Полученные результаты свидетельствуют о возможности дальнейшего применения подобного алгоритма для решения задач сканирования пространства для обнаружения сдвигов и перемещения объектов.

Библиографические ссылки

1. Пастушков А.В., Калайда В.Т. Методы и алгоритмы поиска объекта на видеопотоке // Сборник науч. трудов SWorld. 2017. Т. 6. № 3. С. 38—42.
2. Обухов А.В., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы автоматического распознавания автомобильных номеров // Вестник Чувашского университета. 2016. № 3. С. 201—208.
3. Левинский А.Т., Селюто Н.М., Родионов И.Д. Отслеживание движения и оценка скорости объекта в видеопотоке // Политехнический молодежный журнал. 2017. № 12. 12 с.

4. **Фан Н.Х., Буй Т.Ч., Спицын В.Г.** Распознавание жестов на видеопоследовательности в режиме реального времени на основе применения метода Виолы Джонса, алгоритма SAMShift, вейвлет-преобразования и метода главных компонент // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 2 (23). С. 102—111.

5. **Калиновский И.А., Спицын В.Г.** Обзор и тестирование детекторов фронтальных лиц // Компьютерная оптика. 2016. № 1. С. 99—111.

6. **Канаева И.А., Болотова Ю.А.** Методы коррекции цвета и яркости при создании панорамных изображений // Компьютерная оптика. 2018. № 5. С. 885—897.

7. **Буряченко В.В., Фаворская М.Н., Зотин А.Г., Пахирка А.И.** Восстановление границ кадра при стабилизации на основе построения модели фона и оценки значимости объектов // Информационно-управляющие системы. 2017. № 5 (90). С. 42—51.

8. **Фраленко В.П.** Локализация текстовых фрагментов на смешанном фоне: краткий научный обзор // Программные системы: теория и приложения. 2014. № 2 (20). С. 33—45.

9. **Lucas B.D., Kanade T.** An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proceedings of Imaging Understanding Workshop. 1981. P. 121—130.

10. **Шебалов А.А., Баженов А.Н.** Исследование производительности методов вычисления оптического потока // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. 2012. № 6 (162). С. 152—158.

11. **Панин С.В., Чemezov В.О., Любутин П.С.** Комплексный алгоритм вычисления оптического потока с использованием взвешенной меры подобия // Вычислительные технологии. 2017. Т. 22. № 4. С. 80—94.

12. **Sundaram N., Brox T., Keutzer K.** Dense point trajectories by GPU-accelerated large displacement optical flow // Lecture Notes in Comput. Sci. 2010. Vol. 6311. P. 438—451.

Ссылка для цитирования

Пименова М.Б., Парфентьев К.В. Обнаружение движущихся объектов в кадре по методу вычисления оптического потока Лукаса—Канаде // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 34—39.

УДК 621.317

Н.М. Пириева

(Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
г. Баку, Республика Азербайджан)

necibe.piriyeva@mail.ru

ВОЗВРАЩЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Рассмотрен механизм возвращения механической энергии, потраченной при торможении транспортного средства, передаче на корпус и пропорциональной потере объёма горючего двигателя.

Ключевые слова: горючее; транспортное средство; механическая энергия; накопитель; трос; корпус; потери; накопление; возвратная пружина; тормозной диск; сталь; муфта свободного хода.

The return mechanism of the mechanical energy expended during braking of the vehicle, transfer on the body and proportionate to loss of the engine fuel volume is considered.

Keywords: fuel; vehicle; mechanical energy; accumulator; cable; body; losses; accumulation; returnable spring; brake disk; steel; free wheeling coupling.

Введение. Без преувеличения можно сказать, что история развития общества — это история энергетики, причём первыми источниками энергии для преобразовательной деятельности человека были именно возобновляемые источники энергии — мускульная сила животных, ветер, реки, приливы. Все

традиционные источники энергии обязательно заканчиваются, особенно при постоянно возрастающих потребностях людей. Поэтому на рубеже XXI в. человек стал задумываться о том, что станет основой его существования в новой эре. Есть и другие причины, по которым человечество обратилось к альтерна-

тивными источникам энергии. Рассматриваются вопросы перспективного использования энергии солнца, ветра, геотермального тепла и др., а также конструкции солнечных коллекторов, аккумуляторов тепла, солнечных электростанций, ветроэнергетических установок, приливных электростанций и др. [1–4].

По мере развития техники, энергетики, автоматизации и управления ищутся новые альтернативные источники энергии, к которым можно отнести энергию при торможении транспортных средств.

Двигающиеся объекты различаются по назначению, конструкции, цели, поставленной задаче, технической разработанности, виду топлива, уровню, требованиям и технологии изготовления [5]. Состав этих многоцелевых объектов разделяется на автомобили, тракторы, военную технику и др.

Естественно, двигающиеся объекты снабжаются двигателем внутреннего сгорания (ДВС) или другим двигателем. Степень расхода горючего, зависящего от его объёма, цели и других технических особенностей, меняется в широком диапазоне.

Основная часть. Городской общественный транспорт часто применяет торможение (уменьшение скорости или же остановки). Как вернуть затраченную при этом энергию и улучшить коэффициент полезной работы транспортного средства?

Вывод механической энергии из тормозной системы колёс осуществляется тросом, имеющим связь с дополнительным элементом между корпусом и вращающимися колёсами. Дополнительный элемент незначительно увеличивает вес колёсной системы.

Другой конец троса связан со специальным пружинным накопителем механической энергии. От механической силы тяги троса сжимается пружинная система специальной конструкции и происходит накопление механической энергии в объёме 70...80 %. Этот же конец троса связывается с муфтой свободного хода и возвратной пружиной. После передачи механической энергии трос под действием возвратной пружины вместе с тормозным диском (дополнительный элемент) свободно возвращаются в исходное положение. Накопитель механической энергии имеет конструкцию из пружин, выполненных из высококачественной стали. Можно создать конструкцию, накапливающую энергию всех четырёх колёс транспортного средства одной пружиной. Для конструкции, исследованной в работе, выбра-

на пружина из углеродистой стали с использованием характеристики данной стали. Установленный в конструкции электрогенератор преобразовывает механическую энергию в электрическую. Электроэнергия от электрогенератора направляется для сбора в аккумуляторных банках.

В конструкцию городского автобуса входят четыре элемента, которые реализуют тормозную функцию. Вес одного полюсного комплекса определяется с учётом амортизаторов: лёгкий вес, естественно, даёт возможность в малом объёме менять конструкцию (даже увеличение веса на несколько процентов не должно влиять на процессы, происходящие при движении транспортного средства).

Учитывая изложенное, проведём некоторые изменения в конструкции тормозной системы колеса с соблюдением весового определения. При этом в конструкции произойдут незначительные изменения, которые не повлияют на работу транспортного средства.

В общей компоновке комплекса предлагаемой конструкции функционируют две системы: первая связана с комплексной тормозной системой, где с помощью троса механическая тормозная энергия передаётся в накопитель механической энергии; вторая, электромеханическая (электрогенератор), где механическая энергия превращается в электрическую и накапливается (рис. 1).

На рис. 2 приведена часть системы электромеханического преобразования. У переднего и заднего колёс показаны места системы выделения механической мощности при торможении. У обоих колёс заторможенные диски жёстко связаны с элементом мостового и осевого оснований. При торможении зажимы тормозных элементов между дисками создают механическую силу, которая тормозит вращающее действие колёс.

В тормозной системе машин современной конструкции происходят нарушения в жёсткой механической связи, выраженные тем, что тормозящий элемент поворачивается вокруг оси на некоторый угол в зависимости от силы

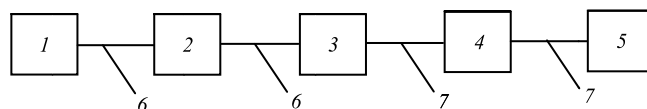


Рис. 1. Общая схема преобразования энергии:

1 — система колёс транспортного средства; 2 — муфта свободного хода; 3 — накопитель механической энергии; 4 — электрогенератор; 5 — комплекс аккумуляторных батарей; 6 — трос; 7 — зубчатые передачи

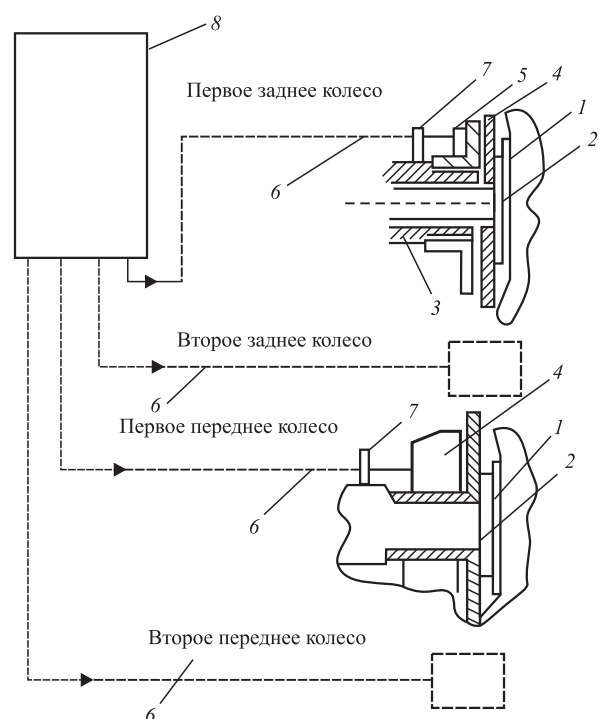


Рис. 2. Конструктивная схема устройства электро-механического устройства для преобразования тормозной энергии:

1 — колесо; 2 — ось; 3 — рубашка; 4 — тормозной диск; 5 — боковой выход; 6 — трос; 7 — основание; 8 — накопитель механической энергии

торможения. Однако транспортные средства имеют разные тормозные системы.

Для получения определённой части энергии торможения, т. е. превращение его в другой вид энергии, механическая энергия из конструкторского пространства, имеющего движущиеся и вращающиеся элементы, передаётся в конструкцию корпуса транспортного средства.

Тормозящий диск имеет определённый угол вращения вокруг своей оси, который выбирается так, чтобы не влиять на время торможения и реакцию водителя. Учитывая эти обстоятельства, угол поворота находится в зоне $\pi/2$ (угол может меняться только в сложной ситуации, когда тормозная сила максимальная) (рис. 3).

В конструкции создан накопитель механической энергии. В накопителе накапливается механическая энергия, полученная от четырёх колёс транспортного средства. Для перевода механической тормозной энергии в накопитель используется трос, состоящий из многочисленных эластичных проволок. Трос объединяет тормозящий диск с накопителем механической энергии. В конце поворота тормозных дисков устанавливаются пружины с малым числом витков, чтобы при резком увеличении

нагрузки (аварийные ситуации) механические удары не ощущались. Трос, связанный с колесом транспортного средства, соединён с муфтой свободного хода, возвратной пружиной и накопителем механической энергии.

Перевод механической энергии выполняется с помощью троса, чтобы комплексная конструкция транспорта, особенно передние и задние колёсные комплексы, не почувствовали некоторое увеличение веса. Конец троса соединён с муфтой свободного хода и возвратной пружиной. Муфта свободного хода применяется для перевода механической энергии в накопитель с помощью троса, после чего трос под действием возвратной пружины и вместе с тормозящим диском возвращается в исходное положение. Накопитель, выполненный из мощной пружины, связан с электрогенератором.

Принципиальная конструктивная схема накопителя механической энергии состоит из пружины и генератора, которые размещаются в закрытом корпусе для защиты от пыли и других воздействий. При конструировании накопителя механической энергии лучше использовать пружины из доброкачественной стали. В конструкции накопителя энергии всех четырёх колёс можно использовать одну пружину в механическом каркасе с выводом оси для контакта с электрогенератором. Соединяя N пружин параллельно и последовательно, можно подобрать схему действия и длину пружины, соответствующие максимальной силе. В данной схеме использована конструкция, состоящая из одной пружины ($N = 1$), что позволяет ликвидировать или уменьшить некоторые неполадки.

В машиностроении часто используется углеродистая сталь. В данной конструкции также использована пружина, выполненная

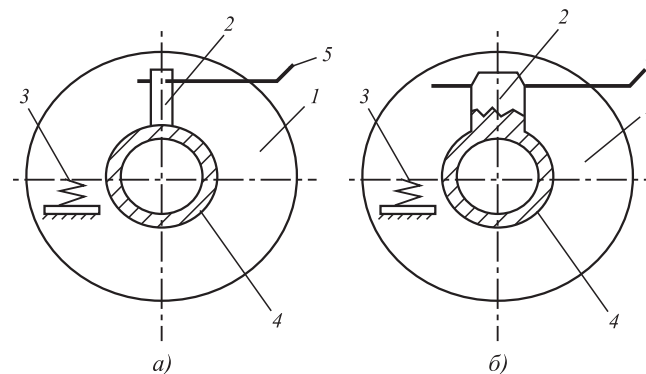


Рис. 3. Поворотные процессы в задних (а) и передних (б) колёсах:

1 — диск торможения; 2 — стойка; 3 — пружина при удачной нагрузке; 4 — обод колеса; 5 — трос

Характеристика пружины для накопителя механической энергии

$P_{\text{расч}}$	Марка стали	Диаметр материала, мм	D/d	Средний диаметр, мм	Число витков	Полный ход пружины	Силы соприкосновения витков, кг	Длина провода, см
1050	50ХФА	17	6	77	42,5	39,5	1018	442,3

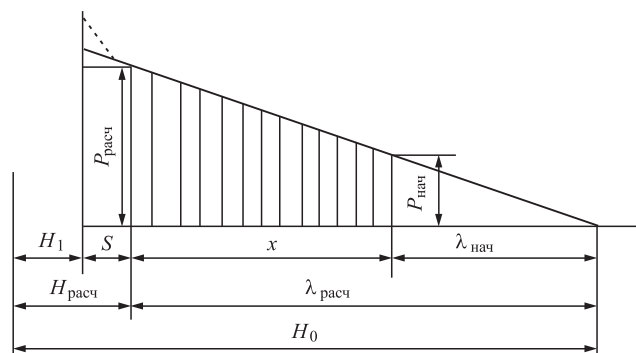


Рис. 4. Характеристика пружины, работающей на сжатие: $P_{\text{расч}}$ — расчётная нагрузка; S — длина запасной части пружины; x — рабочая длина пружины; $\lambda_{\text{нач}}$ — нерабочая длина; $\lambda_{\text{расч}}$ — полная длина пружины; H_0 — длина нагруженной пружины

из цилиндрической стальной проволоки, работающей на сжатие. Для накопителя механической энергии, в первую очередь, важны характеристика пружины и расстояние между нагрузками (рис. 4).

Для компактной конструкции накопителя механической энергии необходимо использовать, по возможности, короткие пружины. При выборе пружины основное место занимают применяющаяся сила и длина сжатия. В конструкции, показанной на рис. 4, пружина с количеством витков i и диаметром D создаёт запасную часть пружины S .

Для обеспечения работы пружины по характеристике крайняя мощность должна составлять $(0,8...0,9)P_{\text{кр}}$. Под такой нагрузкой расстояние (промежуток) между витками определяется по формуле

$$\delta_{\text{раб}} = \frac{S}{i} = (0,1...0,2) \frac{\lambda}{i},$$

где i — число рабочих витков; S — длина запасной части пружины.

Для приближённого расчёта пружины накопителя энергии можно использовать формулы, приведённые в работе [7].

По данным некоторых несложных расчётов для $P_{\text{расч}} = 1050$ кг произведены пружины для накопителя механической энергии (таблица, рис. 5).

Последняя часть механических расчётов относится к превращению механической энергии в электрическую. Электрогенератор, связанный с накопителем механической энергии, вращением ротора размыкающихся сил пружин преобразовывает энергию пружин в электрическую (рис. 6).

Количество аккумуляторных батарей может меняться в зависимости от интенсивности маршрута, количества остановок и режима работы трансформаторного средства.

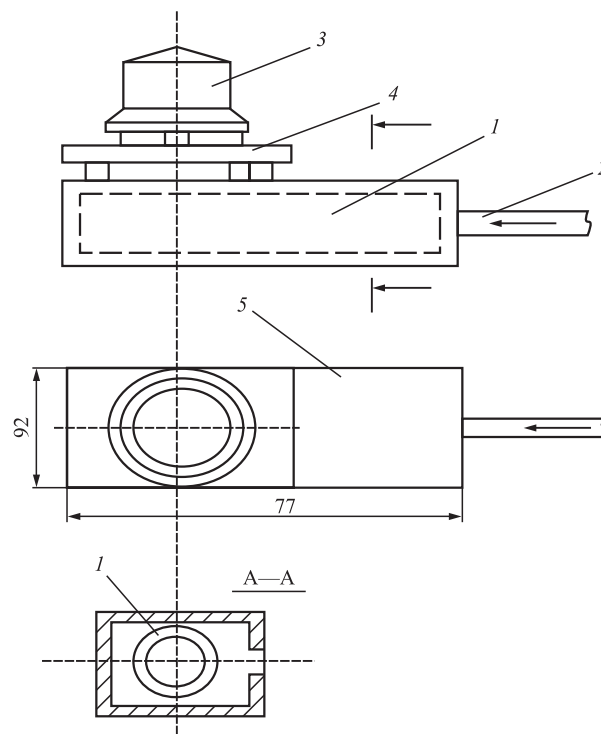


Рис. 5. Общий вид накопителя механической энергии: 1 — рабочая пружина; 2 — трос; 3 — электрогенератор; 4 — механизм зубчатых передач; 5 — корпус

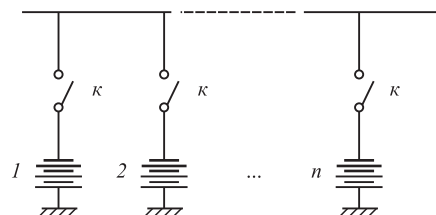


Рис. 6. Соединение аккумуляторных батарей: 1, 2, ..., n — ряд аккумуляторных батарей; k — элементы аккумуляторных батарей

Выводы. Разработана конструкция возвращения тормозной энергии транспортного средства, что прямо связано с объемом потребляемого горючего. Конструктивное исполнение способно для простой системы возвращать затраченный объем горючего на 50...60 %. Данные разработки можно использовать в городском транспорте, где часто происходят тормозные процессы. Накопленная электрическая энергия в аккумуляторных батареях может быть использована для различных целей.

Библиографические ссылки

1. **Вурман А.П.** и др. Основы современной энергетики. М.: МЭИ, 2002.
2. **Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А.** и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников в энергии. СПб.: Наука, 2002.
3. **Патент** Российской Федерации № РУ2119434. Способ Петросова для рекуперации энергии у автомобилей. 1993.

4. **Валакина Е.В., Ревин А.А.** Система «Колесо и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения»: монография. Волгоград: ГТУ, 2004. 306 с.

5. **Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. 2-е изд. М.: КНОРУС, 2019. 228 с.

6. **Мещеряков Р.К.** Справочник технолога-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1980. 56 с.

7. **Гусейнов А.М., Гусейнов Э.Н.** Альтернативные источники энергии. Баку: Мутарджим, 2011. 256 с.

8. **Лабейш В.Г.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. СПб.: СЗТУ, 2003. 79 с.

9. **Магомедов А.М.** Нетрадиционные, возобновляемые источники энергии. Махачкала: Юпитер, 1996. 245 с.

Ссылка для цитирования

Пириева Н.М. Возвращение альтернативной энергии от городского транспортного средства // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 39—43.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»



СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА

Под общей редакцией А.Г. Сулова

Цена 9500 руб.

2019 г. 800 с.

За последние 40 лет впервые издан совершенно новый Справочник технолога. В его написании приняли участие 69 докторов и кандидатов технических наук из 17 регионов Российской Федерации. В книге приведен справочный материал, необходимый технологу при разработке технологических процессов изготовления деталей и сборки узлов. Последовательность изложения справочного материала соответствует методологии технологической подготовки производства. Изложен справочный материал по производству заготовок, назначению припусков, базированию, технологическим способам обработки заготовок, обеспечению качества деталей и сборочных единиц, методике разработки технологических процессов, обработке заготовок, в том числе на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, и сборке изделий машиностроения и авиадвигателестроения.

Приведена нормализованная технологическая документация для разработки технологических процессов. Впервые изложена методология технологической подготовки цифровых производств.

Для инженерно-технических работников промышленных предприятий, студентов, аспирантов и преподавателей технических вузов.

ПРИБРЕСТИ КНИГУ ПО ЦЕНЕ ИЗДАТЕЛЯ МОЖНО, ПРИСЛАВ ЗАЯВКУ

по e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительная информация по телефону (495) 785-60-69 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 629.01

К.К. Хоанг, Е.Ю. Авксентева, Ю.В. Федосов

(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики),

В.Т. Нгуен

(Морской государственной университет им. адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток)

hoangkinn@yandex.ru

АДАПТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ СУДОВЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Проанализированы методы документирования проектирования судовых интегрированных систем управления (СИУС) для обучения будущих специалистов графогеометрической подготовки. Выделены основные составляющие адаптивного обучения автоматизированному проектированию (АП) и его достоинства. Исследованы адаптивные подходы к обучению автоматизированному проектированию СИУС. Исследуемые подходы применены на факультете «Двигатели судостроительных аппаратов» Военно-морской академии Вьетнама.

Ключевые слова: судовые интегрированные системы управления; адаптивное обучение; автоматизированное проектирование; графогеометрическая подготовка; модель предметной области.

The designing documenting methods of ship integrated control systems (SICS) for training future specialists in graphogeometric preparation are analyzed. The main components of adaptive training in computer-aided design (CD) and its advantages are highlighted. The adaptive approaches to teaching of the computer-aided designing of SICS are investigated. The investigated approaches are applied on the Faculty of «Engines for shipbuilding vehicles» of the Vietnam Naval Academy.

Keywords: ship integrated control systems; adaptive learning; computer-aided designing; graphogeometric preparation; domain model.

Задачи создания СИУС являются актуальными и решаются многими вузами и судостроителями. Владение средствами и методами документирования проектных решений — важная профессиональная компетенция, приобретаемая в процессе обучения автоматизированному проектированию судовых интегрированных систем управления (СИУС). Формирование этой компетенции в области проектирования СИУС требует модернизации традиционной системы обучения, что обусловлено [1, 2]:

применением современных технологий проектирования и производства, использующих электронные геометрические модели для описания объектов;

внедрением ведущими техническими университетами в процесс обучения программных комплексов для моделирования процессов производства и эксплуатации изделия.

Основной задачей исследования является создание методологии проектирования обу-

чающей системы графогеометрической подготовки высококвалифицированных специалистов по проектированию СИУС в связи с непрерывным ростом объема накопленной информации в предметной области.

В графогеометрической подготовке автоматизированному проектированию СИУС можно выделить конструкторско-технологическое ядро, обеспечивающее освоение базового уровня знаний и навыков, необходимых для работы с двух- и трёхмерными моделями. Геометрические модели, откладываемые в памяти в качестве образов, служат составными элементами внутренней информационной подсистемы обучающегося. В процессе обучения проявляется двойственная электронная модель, которая помимо результата учебного проектирования является средством развития качеств обучающегося, способствующих нахождению проектного решения. Здесь основную роль играет личный опыт пространствен-

ного мышления обучающегося, который может служить как положительным, так и отрицательным фактором в создании новых представлений о геометрии изделий СИУС. Анализ задачи позволил также предположить влияние психологических факторов на мотивацию и рефлексивные установки обучающихся.

Таким образом, образовательная система для подготовки специалистов в области проектирования СИУС должна состоять из нескольких уровней, предусматривающих инструменты саморегулирования на каждом из них. Также необходимо обеспечить адаптацию компонентов системы «проектировщик — программа — электронная модель», используя принцип обратной связи. В процессе обучения необходимо осуществить их автоматическую настройку и организацию собственной подсистемы. Указанная система является внешней по отношению к внутренней подсистеме представлений обучающегося. Взаимосвязь и синхронное развитие единого информационного пространства является примером действия закона единства учебной и обучающей деятельности.

Рассмотрим начальные условия задачи проектирования системы графогеометрической подготовки СИУС и концептуальные подходы к её решению. В качестве исходного условия будем учитывать, что инструментальное средство обладает ограниченным диапазоном функциональных возможностей независимо от его характера. При этом комбинация двух и более средств может дать не только положительный, но и отрицательный эффект, который усугубляется отсутствием соответствующей организации и элементов управления системой. От современного специалиста требуется глубокое понимание связи геометрической формы изделия с особенностями технологического процесса формообразования и функциональными характеристиками. В результате рассмотрения профессиональных стандартов были выделены следующие компетенции первого уровня АП СИУС [3, 4]:

- способность заниматься с интерфейсом;
- приобретение навыков построения эскизов;
- приобретение навыков твёрдотельного моделирования;
- способность работать с листовыми деталями;
- способность работать с переменными и параметризацией;
- способность создавать массивы объектов;
- способность строить пространственные кривые и точки;

• приобретение навыков проектирования сборки;

• приобретение навыков создания чертежей;

• способность заниматься со спецификацией.

Важнейшей составляющей компетентности специалиста является умение применять теоретические знания в практической работе. Несмотря на то, что современные производства накопили большой опыт решений определённых задач, большинство обучающих систем не используют реальные задачи при подготовке специалистов, а также не интегрируются с базой проектных решений предприятия. Применение современных информационных технологий в обучении АП СИУС позволяет:

- индивидуализировать подход и дифференцировать процесс обучения;
- контролировать обучаемого с диагностической ошибок и обратной связью;
- обеспечить самоконтроль учебно-познавательной деятельности;
- сократить время обучения за счёт трудоёмких вычислений на компьютере;
- продемонстрировать визуальную учебную информацию;
- моделировать и имитировать процессы и явления;
- проводить лабораторные работы, эксперименты и опыты в условиях виртуальной реальности;
- прививать умение принимать оптимальные решения;
- повысить интерес к процессу обучения, используя игровые ситуации.

В работах [5, 6] модель предметной области в системе IDEA описывается в виде деревьев, состоящих из учебного материала, практических упражнений и справочной информации. В проекте используется концепция экрана, интерактивных кнопок, гиперссылок, активных зон и т. д., что позволяет обучающемуся управлять движением, событиями курса и упрощает систему навигации по нему. Экспертная система в программе IDEA может изменять ход процесса обучения: переходить на другие стратегии обучения, возвращаться к ранее пройденному материалу в случае большого количества ошибок. В этом процессе экспертная система сохраняет информацию о прохождении обучающимися данного курса. Система должна выполнять следующие задачи: выбор оптимального учебного плана, предоставление обучающемуся учебного материала в соответствии с его уровнем знаний, анализ зафиксированных ситуаций, подбор подходящей учебной

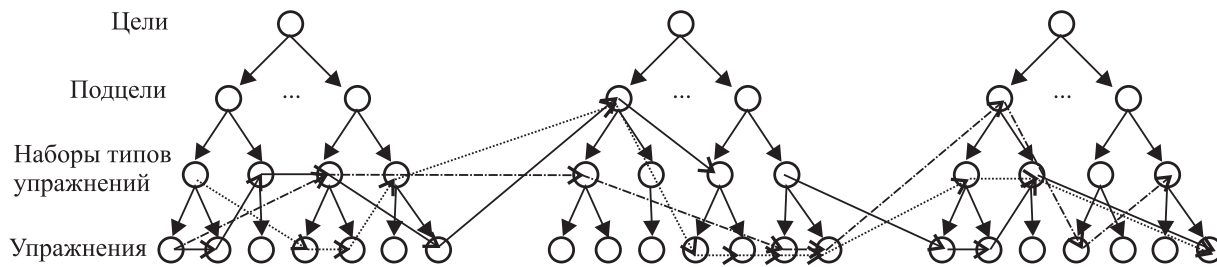


Рис. 1. Обучающие стратегии в экспертной системе:

— стратегия обучения 1 (медленная); — стратегия обучения 2 (нормальная); - - - - - — стратегия обучения 3 (быстрая)

стратегии; составление плана следующего занятия исходя из выбранной стратегии. В зависимости от типа обучающихся, их успехов или неудач предлагаются быстрая, нормальная или медленная стратегии обучения. Пример обучающей стратегии в экспертной системе программы показан на рис. 1. Основными целями проекта IDEA являются разработка и доведение до практического использования такой компьютерной системы обучения, в которой оптимально взаимодействуют все участники процесса: преподаватель, обучающийся, разработчики учебного материала и организация.

Предлагаемая система предполагает использование средств адаптивного обучения.

В работе [7] рассмотрены проблемы использования средств адаптивного обучения. Расширение возможностей компьютерных технологий, стремительный рост объёма и сложности изучаемого материала при сохранении сроков обучения, необходимость индивидуализации учебного процесса, прогресс методов автоматизированного обучения стимулировали развитие автоматизированных и интеллектуальных обучающих систем. Адаптивное обучение имеет следующие черты: необходимость предварительного контроля знаний, тщательной детализации учебного курса, выделения самостоятельных частей курса и установления зависимостей между частями учебного курса.

На рис. 2 приведён алгоритм процесса адаптивного обучения, включающий определение начального уровня знаний, генерацию структуры обучающего курса и финальное тестирование.

Адаптивное представление материала может повысить удобство и упростить его использование в курсах. Поддержка решения задач и интеллектуальный анализ решений могут значительно усовершенствовать работу с задачами, предоставляя как интерактивный режим работы, так и интеллектуальную обратную связь.

В работе [8] проанализированы методы и подходы для разработки интегрированной системы подготовки специалистов по проектированию СИУС. Системы с коммутативными способностями упрощают взаимодействие между системой и пользователями и подразделяются на естественно-языковые интерфейсы, интеллектуальные базы данных, системы когнитивной графики, гипертекстовые системы и контекстные справочные системы. Самообучающиеся интеллектуальные системы автоматически классифицируют ситуации из реальной практики или используют методы обучения на примерах для решения задач. Адаптивные интегрированные системы способны развиваться



Рис. 2. Алгоритм процесса адаптивного обучения

в соответствии с объективными изменениями модели проблемной области и использовать оригинальное и типовое проектирование. Особенность подготовки морских специалистов заключается в том, что они относятся также к категории эксплуатационников, которые должны выполнять чёткие инструкции и действовать по строго формализованным законам и правилам. Это позволяет сформулировать конкретные требования, включающие определённые знания, навыки и умения, на которые будет ориентироваться интеллектуальная система в процессе обучения.

В рамках организации любого типа обучения применение адаптивного обучения на сегодняшний день является актуальным подходом. Адаптивное обучение АП СИУС является образовательным методом, в котором используются алгоритмы и их компьютерное воплощение, чтобы организовать взаимодействие с обучаемым и предоставить уже настроенные ресурсы и учебные мероприятия для удовлетворения индивидуальных потребностей каждого обучающегося. В профессиональных обучающих системах управления контентом люди могут осуществлять обучение с некоторыми элементами взаимодействия с новым материалом. Компьютеры адаптируют представление учебного материала в соответствии с потребностями обучающихся, опираясь на их ответы на вопросы, задачу и опыт. Технология включает в себя аспекты, полученные из различных областей исследования, — компьютерные науки, искусственный интеллект, психометрию, образование, психологию и науки о мозге. Адаптивные системы обучения традиционно разделяют на следующие отдельные модели [9, 10]:

экспертная модель, или модель эксперта хранит информацию о материале, который должен преподаваться. Она может быть как простой для решения отдельных задач, содержать уроки и учебники, так и более сложной, предназначенной для решения только сложных практических задач. По качеству и эффективности решения экспертные системы не должны уступать решениям эксперта-человека. Важными свойствами экспертных систем является способность рассуждать о результатах своей работы, базах знаний и самообучение;

студенческая модель отслеживает знания и успеваемость студента. Самым простым методом определения уровня квалификации обучающегося является компьютерное адаптивное тестирование;

обучающая модель включает лучшие образовательные инструменты технологии. Она может предложить экспертные советы преподавателей по методам представления материала. Уровень сложности обучающей модели в значительной степени зависит от уровня сложности модели студента;

обучающая среда — пользовательский интерфейс для взаимодействия с системой.

Выводы. В многоуровневой системе АП СИУС адапционная функция является обязательным атрибутом. Для подтверждения этого достаточно сравнить уровни развития мышления учащихся на разных этапах и их длительность. На развитие личности в целом и на её пространственное воображение в частности оказывает влияние целый комплекс различных факторов, большая часть из которых находится вне рамок учебной среды. Адаптация необходима там и в той мере, где и насколько внутренняя информационная подсистема обучающегося и организация его мышления не соответствуют уровню поставленных перед ним задач. Модель ожидаемого специалиста — это эталонная модель, которая формируется согласно требованиям вуза и работодателя о том, каким набором компетенций должен обладать выпускник, чтобы быть востребованным на рынке труда.

Под локальным подходом понимается индивидуализация процесса обучения, повышение его качества за счёт адаптации форм представления учебного материала и механизмов организации учебного процесса под потребности каждого индивидуума, что может быть осуществлено с помощью адаптивной среды гипермедиа (рис. 3).

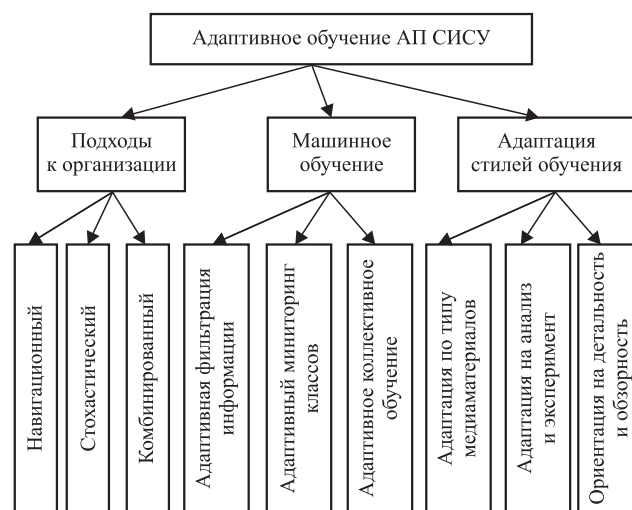


Рис. 3. Адаптивная форма представления информации

Библиографические ссылки

1. **Ивашенко В.И.** Методология адаптивной графогеометрической подготовки при обучении автоматизированному проектированию // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2009. № 3. С. 264—272.

2. **Ивашенко В.И.** Условия связи начального и профессионального уровней в графогеометрической подготовке инженеров // Высшее образование в России. 2009. № 5. С. 166—168.

3. **Мухина М.Л., Ширшова И.А.** Графическая подготовка бакалавров в современном высшем техническом заведении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014.

3. **Белоусов А.И., Маслова А.Г.** Особенности адаптации первокурсников СГАУ в условиях применения компьютерных технологий обучения // Авиационная и ракетно-космическая техника. 2009. С. 279—291.

5. **Кудрявцев В.Б., Алисейчик П.А., Вашик К., Кнап Ж., Строгалов А.С., Шеховцов С.Г.** Моделирование процесса обучения. М.: Фундаментальная и прикладная математика, 2009. С. 189—270.

6. **Канев Д.С.** Разработка моделей, методов и средств формирования профиля компетенций про-

ектировщика в процессах автоматизированного проектирования машиностроительных объектов (на примере САПР КОМПАС). Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2016. 186 с.

7. **Кофнеф М.Д.** Адаптивный подход к проектированию обучающих систем // Вестник НОУ ОНУЦ ОАО Газпром. 2008. С. 20—22.

8. **Лисовская Ю.А., Родыгина И.В., Панамарев Г.Е.** Аналитический обзор интеллектуальных методов для использования в системе подготовки морских специалистов. Новороссийск, 2017. С. 17—22.

9. **Dabolins J.** Teaching of computer aided design systems // Society. Integration. Education. 2018. Vol. V. P. 248—259.

10. **Попова О.В.** Система проектирования адаптивных технологий при подготовке педагогов профессионального обучения // Педагогический университетский вестник Алтая. 2002.

Ссылка для цитирования

Хоанг К.К., Авксентева Е.Ю., Федосов Ю.В., Нгуен В.Т. Адаптивное обучение автоматизированному проектированию печатных плат судовых интегрированных систем управления // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 1. С. 44—48.

Уважаемые читатели!

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

При этом ссылка на журнал обязательна.

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 26.10.2020.

Отпечатано в ООО «Канцлер»

Подписано в печать 21.12.2020.

150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.

Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».

Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

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