

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
И ПРОИЗВОДСТВА

AUTOMATION  
OF TECHNOLOGIES AND  
PRODUCTION



# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№2 (16) ноябрь 2017 г.

Международный научно-технический журнал

Учредитель: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»

## О журнале

Журнал «Автоматизированные технологии и производства» основан в 2012 году на базе сборника «Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии», который издавался кафедрой промышленной кибернетики и систем управления (с 2013 кафедра автоматизированных систем управления - АСУ) с 2004 по 2012 год. В журнале публикуются научные статьи, посвященные автоматизированным системам в промышленности, управлению технологическими процессами и производствами, практическому применению современных методов управления. Освещаются вопросы, связанные с моделированием систем управления, разработкой промышленных тренажеров и стендов для проведения научных исследований и испытаний. Приоритетным направлением журнала является освящение результатов работ в области управления процессами черной металлургии, а также решения задач энерго- и ресурсосбережения с использованием оптимизирующих алгоритмов управления. Журнал предназначен для специалистов в области автоматизации технологических процессов, для работников производственных предприятий, эксплуатирующих системы автоматизации, проектных институтов и вузов, специализирующихся в области информационных технологий.

**Основные направления журнала:** Автоматизированные системы управления; обработка данных, информационное и программное обеспечение автоматизированных систем управления; автоматизированные технологии в образовании; математическое моделирование технологических систем и объектов управления; автоматизация контроля и испытаний; математические модели процессов в металлургии.

## Редакция и редакционный совет

### Редакционный совет

*Председатель редакционного совета:*

Лисиенко Владимир Георгиевич - Вице-президент Академии инженерных наук, президент регионального Уральского отделения Академии инженерных наук, доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*Заместитель председателя редакционного совета:*

Парсункин Борис Николаевич - доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

*Члены редакционного совета:*

Сарваров Анвар Сабулханович - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)  
Радионов Андрей Александрович - доктор технических наук, профессор (ЮУрГУ)

Карандаев Александр Сергеевич - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)  
Вдовин Константин Николаевич - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)  
Спирин Николай Александрович - доктор технических наук, профессор (УрФУ)  
Дмитриенко Валерий Дмитриевич - доктор технических наук, профессор (НТУ «Харьковский политехнический институт»)  
Ишметьев Евгений Николаевич - доктор технических наук (ЗАО «КонсОМ СКС»)

### Редакция

*Председатель редакционной коллегии*

Парсункин Борис Николаевич – доктор технических наук

*Главный редактор:*

Андреев Сергей Михайлович – кандидат технических наук,

*Ответственный редактор:*

Рябчиков Михаил Юрьевич – кандидат технических наук

*Технический редактор:*

Рябчикова Елена Сергеевна – кандидат технических наук

## Контакты

**Главный редактор:** Андреев Сергей Михайлович  
Тел.: (3519) 29-85-27  
**Редакционная коллегия:** Парсункин Борис Николаевич  
Тел.: (3519) 29-84-32  
E-mail: atp@magtu.ru

**Адрес редакции:** 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.  
E-mail: atp@magtu.ru

**Дизайн и вёрстка:** Рябчикова Елена Сергеевна

Журнал подготовлен издательским центром МГТУ им. Г.И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.  
Выходит в свет 11.2017.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

### Обработка данных, информационное и программное обеспечение автоматизированных систем управления

*Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков,  
А.Н. Панов, Е.Э. Бодров*

Автоматизация процесса вычисления объема металлолома для кислородно-конвертерного процесса с использованием 3D-камеры..... 4

*Ю.В. Федосеева, И.Г. Зорина,  
В.Д. Тутарова, Я.С. Сагитова*

Автоматизированная информационная система «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников»..... 10

### Автоматизированные системы управления

*Б.Н. Парсункин, Т.Г. Суханосова*

Достоверное и оперативное определение динамических параметров управляемого технологического процесса при интенсивных возмущениях..... 17

### Математическое моделирование технологических систем и объектов управления

*К.В. Кротов*

Использование аппарата генетических алгоритмов при формировании решений по составам партий данных в двухуровневой задаче построения комплексных расписаний их обработки..... 23

*М.И. Васильев, Д.Л. Власов, И.И. Васильев*

Анализ и сравнение основных входных регулирующих воздействий на ПИД регулятор..... 35

### Краткие сообщения

*В.Ц. Зориктуев, Б.Н. Файрушин*

Системный анализ автоматизированного управления процессом механообработки на обрабатывающем центре..... 40

### Data processing, automated control systems software

*E.N. Ishmetyev, D.V. Chistyakov,  
A.N. Panov, E.E. Bodrov*

Automated calculation of scrap-metal's volume in oxygen converter process using 3D-camera..... 4

*Yu.V. Fedoseeva, I.G. Zorina,  
V.D. Tutarova, Ya.S. Sagitova*

Automated information system «Accounting of the teaching staff's proficiency level»..... 10

### Automatic control systems

*B.N. Parsunkin, T.G. Sukhonosova*

A reliable and operation definition of the dynamic parameters of the control technological process under intensive perturbation action..... 17

### Mathematical simulation of control systems and objects

*K.V. Krotov*

Using of the apparatus of genetic algorithms in the formation of decisions on the composition of batches of data in the two-level task of constructing complex schedules for their processing..... 23

*M.I. Vasilyev, D.L. Vlasov, I.I. Vasilyev*

Analysis and comparison of the input regulatory influences on PID controller..... 35

### Summary statement

*V.C. Zoriktuev, B.N. Fairushin*

System analysis of automated process control machining at the machining center..... 40

# ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

## Оформление

**Научные статьи**, направляемые для публикации в журнал, **должны содержать**: название статьи; - сведения об авторах (Фамилия, Инициалы; место работы, город, страна; электронный адрес), количество авторов - не более 5; аннотацию в объеме от 100 до 250 слов; перечень ключевых слов или фраз в объеме не более 7; список литературы, не менее 8 ссылок. В случае представления статьи на русском языке указанные выше пункты должны быть представлены также и в англоязычном варианте. Если в оригинале статья написана на английском языке, то дополнительно эти сведения рекомендуется привести на русском языке.

**Статью следует набирать в шаблоне**, представленном на информационной станции портала ФГБОУ ВО "МГТУ" [www.magtu.ru](http://www.magtu.ru) (раздел "Автоматизированные технологии и производства").

**Рекомендуемая структура статьи**: УДК. Аффiliation (фамилии авторов и место их работы). Название статьи. Аннотация. Ключевые слова. Введение. Методы исследования. ... Результаты. Заключение. Источник финансирования (при необходимости). Список литературы. Информация на английском (аффiliation, аннотация, ключевые слова, список литературы).

**При оформлении статьи рекомендуется придерживаться следующих правил**:

Объем рукописи статьи, оформленный в соответствии с приведенными требованиями, не должен превышать: обзорной статьи более 10 страниц; статьи более 6 страниц; краткого сообщения более 2 страниц.

**Самоцитирование**: не рекомендуется более 25% от общего числа ссылок.

**Размерности величин** выбираются и обозначаются согласно ГОСТ 8.417-2002.

**В сопровождение рукописи** статьи авторами должны быть направлены на официальный адрес электронной почты редакции журнала, следующие документы: **экспертное заключение** о возможности опубликования в открытой печати (цветной скан в формате PDF). Работы, выполненные авторами в инициативном порядке, представления экспертного заключения не требуют; **сведения об авторах** (Фамилия Имя и Отчество полностью, ученая степень и ученое звание, место работы, город, страна, электронный адрес) с указанием одного из авторов, который будет взаимодействовать с редакцией.

## Пример оформления

УДК 681.5.015.32

### ДОСТОВЕРНОЕ И ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Б.Н. Парсушкин<sup>1</sup>, Т.Г. Суховосова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup>tgobuhova@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассмотрена математическая модель программной реализации достоверного и оперативного метода определения значений динамических параметров управляемого технологического процесса для определения динамических параметров настроенных микропроцессорных контуров управления в условиях интенсивного внешнего воздействия технологически и организационных возмущений, характерных для реального производства. Эффективное решение поставленной задачи обеспечивается использованием уникальных свойств ортогональных функций Уолша, позволяющих формирование таких планов тестирующих воздействий, которые полностью компенсируют негативное влияние возмущающих воздействий на интегральную оценку отклика (реакции) управляемого параметра на тестирующее входное воздействие. Использование предлагаемого метода особенно целесообразно при решении многих практических задач, когда необходимо получать достоверные результаты в условиях действия различных возмущающих факторов влияющих на точность определяемого параметра.

**Ключевые слова:** динамические параметры объекта управления, определение параметров объекта, функции Уолша, компенсация возмущений, тестирующие воздействия, интегральная оценка.

#### Введение

При адаптации современного микропроцессорного регулирующего комплекса (МРК) к управляемому технологическому процессу приоритетной задачей является оперативное и достоверное определение динамических параметров объектов управления: коэффициента передачи объекта Ко, постоянной

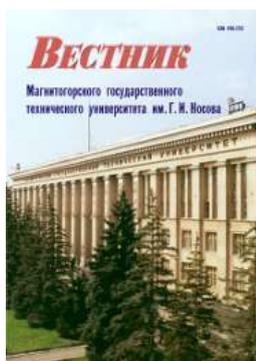
Например, жарные разгоны по температуре поверхности нагреваемой заготовки в первой сварочной зоне методической печи №1 стана 2100 ОАО «ММК» (до реконструкции) при различных величинах расхода природного газа во второй сварочной зоне представлены на рис. 1 [3]. Динамические параметры, полученные при обработке экспериментальных жарных разгонов на рис. 1 представлены в табл. 1 в зависимости от условий работы

## Предоставление материалов

Для опубликования статьи в журнале необходимо представить в электронном виде по e-mail: [atp@magtu.ru](mailto:atp@magtu.ru) текст статьи, сведения об авторах и экспертное заключение о возможности опубликования.

За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор. Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции. При перепечатке ссылка на «Автоматизированные технологии и производства» обязательна.

## Другие рекомендуемые периодические издания



Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова



Электротехнические системы и комплексы



Журнал молодых исследователей: магистров и аспирантов



Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах

УДК 669.1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБЪЕМА МЕТАЛЛОЛОМА ДЛЯ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-КАМЕРЫ

Е.Н. Ишметьев<sup>1</sup>, Д.В. Чистяков<sup>1</sup>, А.Н. Панов<sup>1</sup>, Е.Э. Бодров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «КонсОМ СКС», г. Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

fortheartist@mail.ru

**Аннотация.** Одним из важных технологических параметров кислородно-конвертерного процесса является насыпная плотность стального металлолома, используемого в качестве охладителя. Информация о массе металлолома, засыпанного в совки для загрузки металлолома в конвертер, поступает от весов в систему АСУ ТП. Имея данные об объеме металлолома в совках, можно рассчитать его насыпную плотность. В данной работе с помощью 3D-камеры с времяпролетным сенсором было вычислено значение объема стального металлолома, которое затем может быть использовано для расчета его насыпной плотности.

**Ключевые слова:** кислородный конвертер, измерение объема объекта, времяпролетная 3D-камера, металлолом, насыпная плотность.

Кислородно-конвертерный процесс производства стали в настоящее время достаточно широко распространен. На выход готовой стали и технологическую стабильность самого процесса выплавки влияют множество факторов. Один из таких факторов – это насыпная плотность стального металлолома, используемого в качестве охладителя в процессе плавки [1, 2].

Насыпная плотность металлолома может варьироваться в широких пределах. Поэтому данный технологический параметр необходимо контролировать. В кислородно-конвертерном цехе установлены весы для замера массы загружаемого в конвертер стального лома. Имея информацию об объеме этого лома, можно вычислить его насыпную плотность.

Поэтому возникла необходимость в разработке системы расчета объема стального металлолома, загружаемого в совки для последующей его загрузки в конвертер. Существуют разные способы вычисления объема объектов с неровной поверхностью, обладающие своими преимуществами и недостатками [3-12]. В данной работе был сделан выбор на использовании 3D-камеры, применяемой в системах технического зрения, робототехнике, распознавании объектов и т.д.

В качестве оборудования для расчета объема лома в совке была выбрана 3D-камера, работающая в паре с инфракрасной подсветкой и делающая снимок совка. Снимок представляет собой поле размером 16×64 пикселей. Каждый из пикселей имеет координаты  $x_i$ ,  $y_i$  и  $z_i$ , где  $x_i$  – это расстояние от плоскости, в которой находится камера до измеряемой точки на поверхности металлолома, а  $y_i$  и  $z_i$  – это размеры сторон пикселя, лежащего на поверхности металлолома. Для съемки совка использовалась камера O3M150 производства компании Ifm electronics с устройством подсветки [13]. Установ-

ка подобной 3D-камеры вместе с устройством подсветки приведена на *рис. 1*.

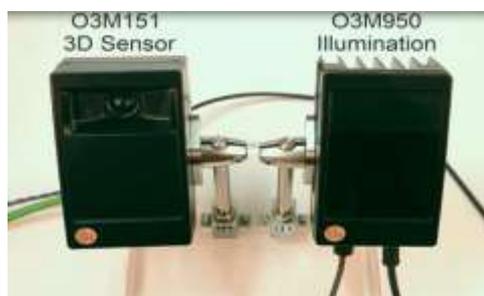
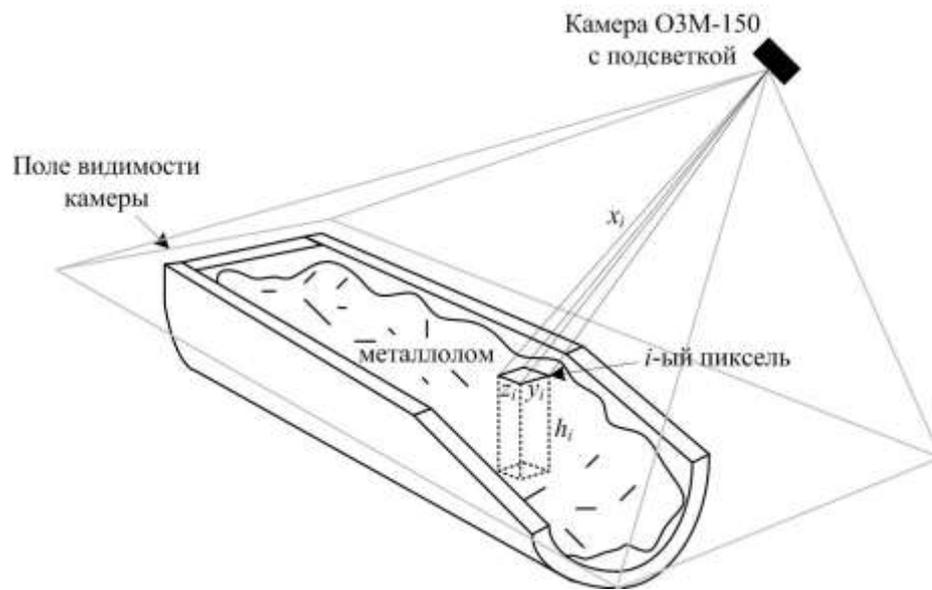


Рис. 1. Внешний вид 3D-камеры и устройства подсветки

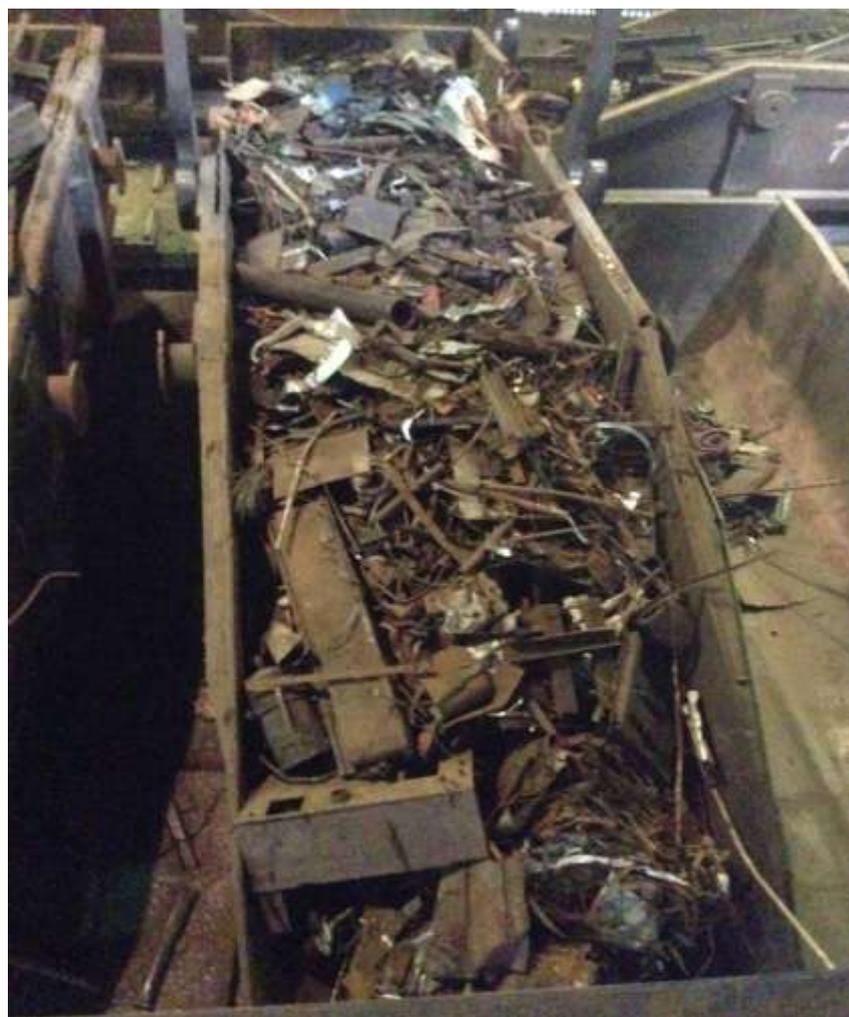
Основой использованной камеры является времяпролетный сенсор (time-of-flight) для вывода 3D-изображения. Камера имеет прямоугольное поле пикселей размером 64 × 16. Углы обзора камеры O3M150 составляют 70° по длинной стороне поля пикселей и 23° по короткой стороне.

В производственных условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «ММК» был проведен эксперимент по измерению объема стального металлолома в совках перед их загрузкой в конвертер.

Эксперимент был проведен в отделении загрузки металлолома в совки. Совок для загрузки имеет следующие размеры: длина – 11 метров, ширина – 4 метра и высота – 3 метра. Камера была установлена над совком сбоку и наклонена на угол 43 градуса к горизонту для того, чтобы захватить в поле видимости весь совок, как показано на *рис. 2*. Фотография исследуемого совка приведена на *рис. 3*.



**Рис. 2. Определение площади  $i$ -го пикселя на плоскости металлолома**



**Рис. 3. Полный совок с металлоломом**

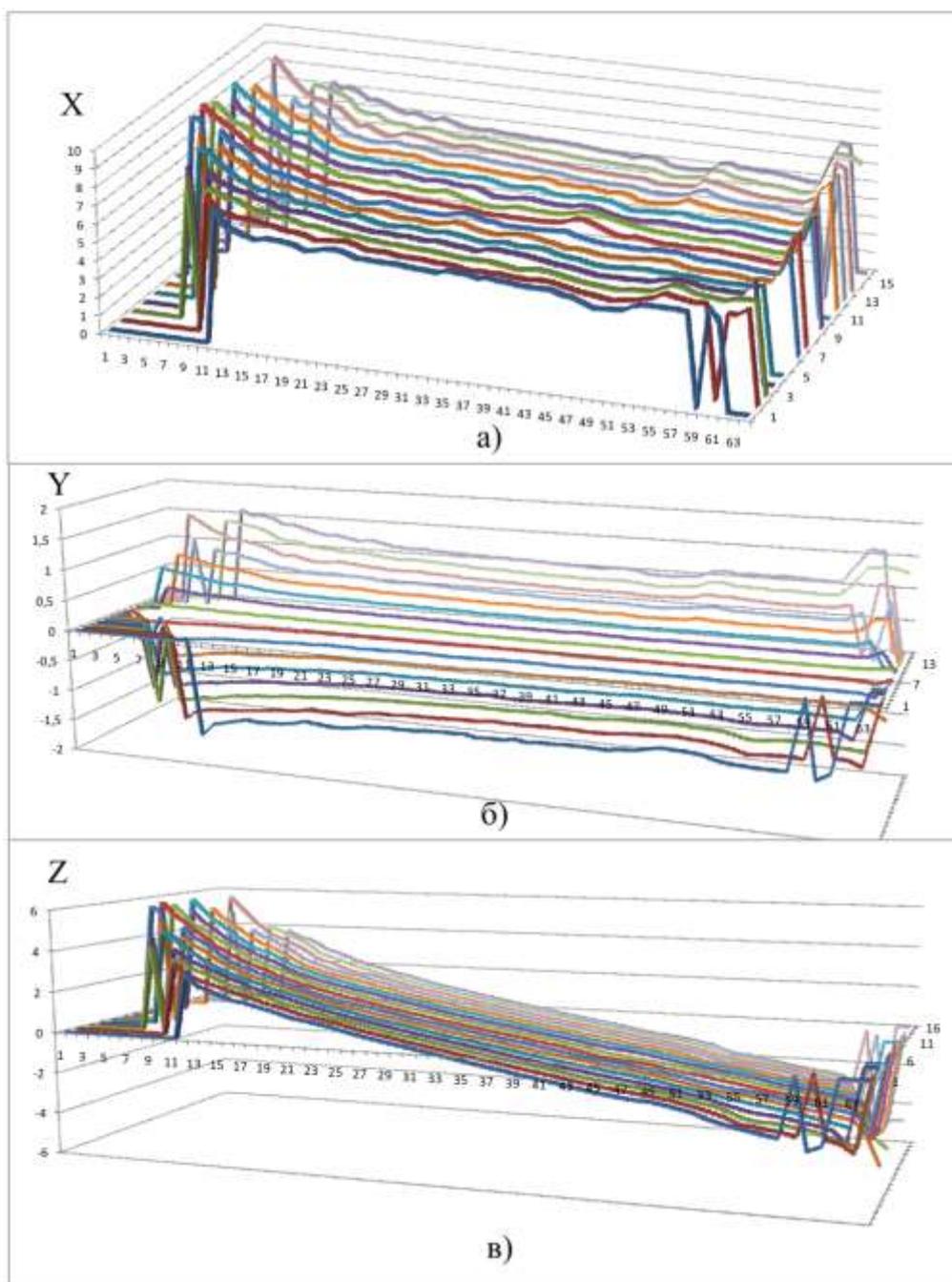


Рис. 4. Значения координат X, Y и Z изображения, полученного камерой ОЗМ150

Значения координат  $x_i$ ,  $y_i$  и  $z_i$ , полученных непосредственно с камеры ОЗМ150 в ходе проведенного эксперимента, показаны в виде графиков на рис. 4. Значимыми являются значения для пикселей, находящихся в центральной части поля видимости. Нулевые значения, находящиеся по краям обусловлены несколькими причинами. Во-первых, нулевыми могут быть значения пикселей, на которые не попал свет от устройства подсветки. Во-вторых, объект или фон, находящийся на большом расстоянии может иметь нулевые значения координат. И наконец, программное обеспечение используемой камеры в случае обнаружения резко очерченной границы объекта отсекает пиксели, принадлежащие фону, приравнивая значения их координат нулю.

«Сырые» значения координат  $x_i$ ,  $y_i$  и  $z_i$  неудобны для расчетов. Поэтому расстояние  $x_i$ , полученное с камеры, было преобразовано в значение высоты от камеры (от горизонтальной плоскости, в которой расположена камера) до поверхности металлолома. После проведения съемки пустого совка, была выяснена высота от камеры до дна совка. Далее при вычитании из расстояния до поверхности металлолома расстояния до дна совка были получены значения высоты поверхности металлолома над дном совка (обозначим эту высоту как  $h_i$ ). Значения этой высоты для снятой части совка (см. рис. 2) приведены на рис. 5.

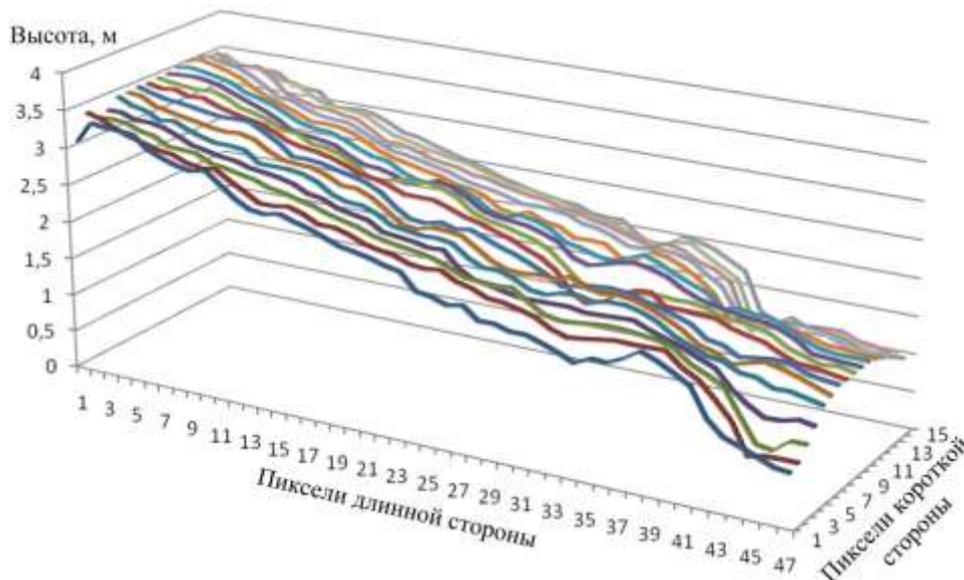


Рис. 5. Высота поверхности металлолома над дном совка

Для получения площади  $i$ -го пикселя, попадающего на поверхность металлолома, необходимо перемножить значения  $y_i$  и  $z_i$ . Умножением полученного таким образом значения площади на высоту  $i$ -го пикселя был вычислен объем параллелепипеда, образованного путем проекции этого пикселя на дно совка перпендикулярно горизонтальной плоскости.

Теперь общий объем металлолома можно вычислить как сумму отдельных объемов параллелепипедов для каждого из  $n$  пикселей, попадающих на поверхность металлолома [14]:

$$V = \sum_{i=1}^n h_i \cdot y_i \cdot z_i.$$

Для полного совка с металлоломом был произведен расчет объема по приведенному выше выражению. Рассчитанное значение объема составило  $V = 50,6 \text{ м}^3$ . Это значение соответствует паспортным данным для исследованного совка. Разброс значений измерения, вызванный погрешностью, вносимой измерительным оборудованием, не превышает 5% по результатам расчета для семи измерений одного полного совка, полученных с интервалом около тридцати секунд одно от другого.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что с помощью 3D-камеры можно в автоматическом режиме вычислять объем, а затем и насыпную плотность стального металлолома, используемого в кислородно-конвертерном процессе в качестве охладителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макарова Е.А. Проблемы конвертерного производства стали и пути решения дефицита металлолома / Е.А. Макарова, М.М. Перистый // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. докладов XXIII Всеукр. научн. Конф. аспирантов и студентов. Донецк: ДонНТУ, ДонНУ, – 2013. – Т.2. – С. 158-159.
2. Шелягович А.В. Разработка режимов формирования металлозавалки в кислородном конвертере с применением композиционных материалов и исследование их влияния на технологические показатели выплавки стали: дис. ... канд. техн. наук. М., – 2005. – 211 с.
3. T. Möller, H. Kraft, J. Frey, M. Albrecht and R. Lange, "Robust 3D measurement with PMD sensors," Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH, Zurich, Switzerland, – 2005.
4. Q. Xu, Y. Huang, L. Xing, Z. Tian, Z. Fei and L. Zheng, "A fast method to measure the volume of a large cavity," IEEE Access, 2015, pp. 1555 – 1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661.
5. Y. D. Chincholkar and S. Bangadkar, "A Review of ToF PMD Camera," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, Issue 5, 2015, pp. 4142-4149. DOI: 10.15662/ijareie.2015.0405058.
6. Патерикин В.И. Оптические методы зондирования для наголовных средств измерения пространственных параметров поверхности трехмерных предметов в реальном времени // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – №2. – С. 44-48.
7. Крысин Д.Ю. Применение времяпролетных PMD-камер для определения дальности до водной поверхности / Д.Ю. Крысин, А.В. Небылов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2(84). – С. 33-39.
8. Рутковский В.О. Метод получения трехмерных цифровых моделей технических объектов, основанный на применении искусственных текстур / В.О. Рутковский, М.А. Рутковская // Вестник СибГАУ. – 2010. – №5. – С. 249-254.
9. G. Berkovic and E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," Advances in Optics and Photonics 4, 2012, pp. 441-471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441.
10. Y. R. Huddart, "Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines," dissertation, Heriot-Watt University, 2010.

11. Скляренко М.С. Оценка точности методов трекинга для определения 2D-координат и скоростей механических систем по данным цифровой фотосъемки // Компьютерная оптика. – 2015. – №1. – С. 125-135.
12. Борминский С.А. Метод оптоэлектронного контроля жидкости в резервуаре / С.А. Борминский, А.В. Солнцева, Б.В. Скворцов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40. – №4. – С. 552-559.
13. ОЗМ150. Фотоэлектрические датчики для распознавания объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (дата обращения 05.05.2016).
14. Ишметьев Е.Н. Расчет насыпной плотности стального металлолома в совках для скрапа с использованием трехмерной камеры / Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков, А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, Д.В. Рабаджи // Черные металлы. – 2017. – №4. – С. 22-28.

## AUTOMATED CALCULATION OF SCRAP-METAL'S VOLUME IN OXYGEN CONVERTER PROCESS USING 3D-CAMERA

E.N. Ishmetyev<sup>1</sup>, D.V. Chistyakov<sup>1</sup>, A.N. Panov<sup>1</sup>, E.E. Bodrov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CJSC «KonsOM SKS», Magnitogorsk, Russia

<sup>2</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract.** One of the important technological parameters of an oxygen converter process is bulk density of steel scrap-metal that is used as a refrigerant. Information about the weight of the scrap-metal that is loaded into a peel is provided by scales that is part of an automation process control system. Having data about the scrap-metal's volume and mass, the bulk density can be calculated using those two parameters. This paper describes a method of calculating the volume of steel scrap-metal using a 3D-camera with time-of-flight sensor. The obtained value of the volume then can be used to calculate bulk density of the scrap-metal.

**Keywords:** oxygen converter furnace, object's volume measurement, time-of-flight 3D-camera, scrap-metal, bulk density.

### REFERENCES

1. Makarova E.A., Peristyj M.M. Problems of converter steel production and ways to solve scrap deficit [Problemy konvertornogo proizvodstva stali i puti reshenija deficita metalloloma], Proc. "Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov: XXIII Vseukrainskaja nauchnaja konferencija aspirantov i studentov", Donetsk, DonNTU, DonNU, 2013, vol.2, pp. 158-159.
2. Sheljagovich A.V. Razrabotka rezhimov formirovanija metallozavalki v kislorodnom konvertere s primeneniem kompozicionnyh materialov i issledovanie ih vlijaniya na tehnologicheskie pokazateli vyplavki stali: dissertacija kand. tehn. nauk [Development of modes for forming metal scrap in the oxygen converter with the use of composite materials and study of their effect on technological parameters of steel smelting: dissertation of Ph.D. (Eng.)], Moscow, 2005, 211 p.
3. T. Möller, H. Kraft, J. Frey, M. Albrecht and R. Lange, "Robust 3D measurement with PMD sensors," Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH, Zurich, Switzerland, 2005.
4. Q. Xu, Y. Huang, L. Xing, Z. Tian, Z. Fei and L. Zheng, "A fast method to measure the volume of a large cavity," IEEE Access, 2015, pp. 1555 – 1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661.
5. Y. D. Chincholkar and S. Bangadkar, "A Review of ToF PMD Camera," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, Issue 5, 2015, pp. 4142-4149. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0405058.
6. Paterikin V.I. Optical sounding methods used in head devices for measuring spatial parameters of three-dimensional objects' surface in real time [Opticheskie metody zondirovanija dlja nagolovnyh sredstv izmerenija prostranstvennyh parametrov poverhnosti trehmernyh predmetov v real'nom vremeni], Interjekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia], 2015, no.2, pp. 44-48.
7. Krysin D.Ju., Nebylov A.V. The use of time-of-flight PMD cameras to determine distance to the water surface [Primenenie vremjaproletnyh PMD-kamer dlja opredelenija dal'nosti do vodnoj poverhnosti], Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki [Scientific and Technical Herald of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2013, no.2(84), pp. 33-39.
8. Rutkovskij V.O., Rutkovskaja M.A. The method of obtaining three-dimensional digital models of technical objects, based on the use of artificial textures [Metod poluchenija trehmernyh cifrovych modelej tehniceskikh ob'ektov, osnovannyj na primenenii iskusstvennyh tekstur], Vestnik SibGAU [Bulletin of Siberian State University of Management], 2010, no.5, pp. 249-254.
9. G. Berkovic and E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," Advances in Optics and Photonics 4, 2012, pp. 441-471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441.
10. Y. R. Huddart, "Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines," dissertation, Heriot-Watt University, 2010.
11. Skljarenko M.S. Estimation of the accuracy of tracking methods for determining 2D coordinates and speeds of mechanical systems based on digital photography data [Ocenka tochnosti metodov trekinga dlja opredelenija

- 
- 2D-koordinat i skorostej mehanicheskikh sistem po dannym cifrovoj fotos'jomki], Komp'juternaja optika [Computer Optics], 2015, no.1, pp. 125-135.
12. Borminskij S.A., Solnceva A.V., Skvorcov B.V. The method of optoelectronic control of a liquid in a tank [Metod optojelektronnogo kontrolja zhidkosti v rezervuare], Komp'juternaja optika [Computer Optics], 2016, vol. 40, no.4, pp. 552-559.
13. O3M150. Fotojelektricheskie datchiki dlja raspoznavanija ob'ektov [O3M150. Photoelectric sensors for object recognition]. Available at: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (accessed 5 may 2016).
14. Ishmet'ev E.N., Chistjakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.Je., Rabadzhi D.V. Calculation of the bulk density of steel scrap in scoops for scrap using a three-dimensional camera [Raschet nasypnoj plotnosti stal'nogo metalloloma v sovkah dlja skrapa s ispol'zovaniem trehmernoj kamery], Chernye metally [Stahl und Eisen], 2017, no.4, pp. 22-28.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «УЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ И СТАЖИРОВОК ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ»

Федосеева Ю.В.<sup>1</sup>, Зорина И.Г.<sup>2</sup>, Тутарова В.Д.<sup>3</sup>, Сагитова Я.С.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
Многопрофильный колледж, г. Магнитогорск, Россия

<sup>4</sup> yanguzelechka@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен процесс разработки автоматизированной информационной системы «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников», целью которой является автоматизация учета процессов повышения квалификации и профессиональной переподготовки педагогов, стажировки штатных педагогических работников и внутренних совместителей образовательного учреждения.

**Ключевые слова:** автоматизированная информационная система; образование; повышение квалификации; стажировка; педагогический работник.

### Введение

Информатизация образования является широкой, многоаспектной областью деятельности человека, влияющей на функционирование всей системы образования, и, без преувеличения, на жизнь всего общества в целом. Она представляет собой область научно-практической деятельности человека, направленной на применение методов и средств сбора, хранения, обработки и распространения информации для систематизации имеющихся и формирования новых знаний в рамках достижения психолого-педагогических целей обучения и воспитания.

Однако, на практике информатизация образования невозможна без применения специально разработанных компьютерных аппаратных и программных средств, которые называются средствами информатизации образования [1]. При этом информатизация конкретного учебного заведения представляет собой комплекс мероприятий, нацеленных на применение средств информационных технологий для повышения эффективности процессов обработки информации во всех, без исключения, видах деятельности современного учреждения образования.

Работа педагогов, методистов, администраторов учебных заведений, как правило, связана с дефицитом времени, перегрузкой, изменением нормативно-правовой базы в сфере образования. При этом отсутствие централизованного обеспечения информацией, расширение номенклатуры специальностей, необходимость ведения собственной планово-финансовой деятельности, сложность привлечения в учебные заведения специалистов высокой квалификации приводят к серьезным трудностям в организации управления различными направлениями образовательной деятельности [2].

Так, например, процедура по учету повышения квалификации и стажировок педагогических работников отличается высокой степенью трудоемкости, повторяемостью однотипных действий, большим объемом информации, высокой степенью риска в допущении ошибок. Чтобы избежать этого, специалисты прибегают к

записям. Однако недостаточно только лишь записать информацию. Необходимо уметь быстро ее найти в нужное время, сгруппировать, отсортировать и сформировать ее в виде отчетов. Это способствует повышению качества работы административных сотрудников, и эффективности персональной деятельности преподавателей.

### Актуальность работы

Основные преимущества автоматизации учета процессов повышения квалификации и стажировок педагогических работников:

- 1) сокращение избыточности хранимых данных;
- 2) уменьшение затрат на многократные операции обновления избыточных копий;
- 3) устранение возможности возникновения противоречий из-за хранения в разных местах сведений об одном и том же объекте;
- 4) увеличение степени достоверности информации;
- 5) увеличение скорости обработки информации;
- 6) сокращение излишнего количества внутренних промежуточных документов, различных журналов и папок, нет необходимости повторного внесения одной и той же информации в различные промежуточные отчеты;
- 7) внутренний учет повышения квалификации (стажировок) педагогических работников на соответствие формируемых профессиональных компетенций по читаемым профессиональным модулям и междисциплинарным курсам.

Из выше сказанного вполне очевидно, что разработка автоматизированной информационной системы по ведению учета повышения квалификации и стажировок педагогических работников учебного заведения актуальна.

## Постановка задачи

До недавнего времени вопросы, связанные с различными сферами деятельности системы повышения квалификации, относились к числу организационных, и по этой причине в научных исследованиях по данному направлению многие проблемы не нашли должного отражения. Вопросы повышения квалификации решались на уровне директивных и нормативных документов и конкретной практической деятельности [3]. В связи с этим вопросы использования новых информационных технологий в управлении деятельностью в системе повышения квалификации работников образования не являлись предметом специального исследования.

Цель работы – автоматизация учета процессов повышения квалификации и профессиональной переподготовки педагогов, стажировки штатных педагогических работников и внутренних совместителей образовательного учреждения за счет разработки автоматизированной информационной системы (АИС) «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников» на примере Многопрофильного колледжа ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

АИС «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников» разработана с целью повышения эффективности принятия решений при планировании и проведении повышения квалификации и стажировок педагогических работников, и служит информационной поддержкой деятельности руководящих и координирующих сотрудников образовательного учреждения. Она предназначена для сбора, хранения, упорядочения данных о педагогических работниках Многопрофильного колледжа ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова» и выдачи информации по запросам. Кроме того в функциональные задачи АИС входит

- ввод, редактирование, удаление информации о повышении квалификации и стажировок педагогических работников;

- формирование и импорт отчетов в формат .doc

- поиск сотрудников по различным категориям (по фамилии, по должности, по специальности и т.д.)

- выдача по запросам специалиста конкретных сведений о «просроченности» сроков повышения квалификации и стажировки определенных преподавателей.

Проектные решения:

В АИС выделено четыре актера, выполняющих разные функции при работе с ней – это администратор системы, специалист, в чьи функции входит учет повышения квалификации и стажировки педагогического работника, преподаватель и администрация колледжа. Схема функционирования с помощью диаграммы прецедентов для приложения по учету повышения квалификации педагогического работника и управление его предметной областью представлена на рис. 1.

В этой системе выделяются следующие основные элементы: «Сотрудник», «Аттестация», «Повышение квалификации», «Стажировки», «Должность», «Вид обучения», «Учреждения», «Специальность», «Направление подготовки» и т.д..

Сотрудник – список всех сотрудников Многопрофильного колледжа.

Аттестация – список документов по аттестации сотрудников.

Повышение квалификации – список документов по повышению квалификации.

Стажировки – список документов по стажировкам сотрудников.

Должность – список должностей сотрудников.

Образование – образование, которое получил сотрудник до начала трудовой деятельности.

Отделение – каждый сотрудник относится к определенному отделению.

ПЦК/ПК – каждый сотрудник является членом предметной комиссии (ПК) или предметно-цикловой комиссии (ПЦК).

Ученая степень – научная квалификация сотрудников.

Ученое звание – позиция, которая присваивается в зависимости от научной квалификации и сложности решаемых исследовательских задач.

Категория – уровень квалификации. Раз в пять лет каждый педагог, не имеющий категории, независимо от желания и стажа работы должен проходить аттестацию с целью подтверждения соответствия занимаемой должности.

В результате анализа предметной области решаемой задачи спроектирована база данных, схема которой приведена на рис. 2.

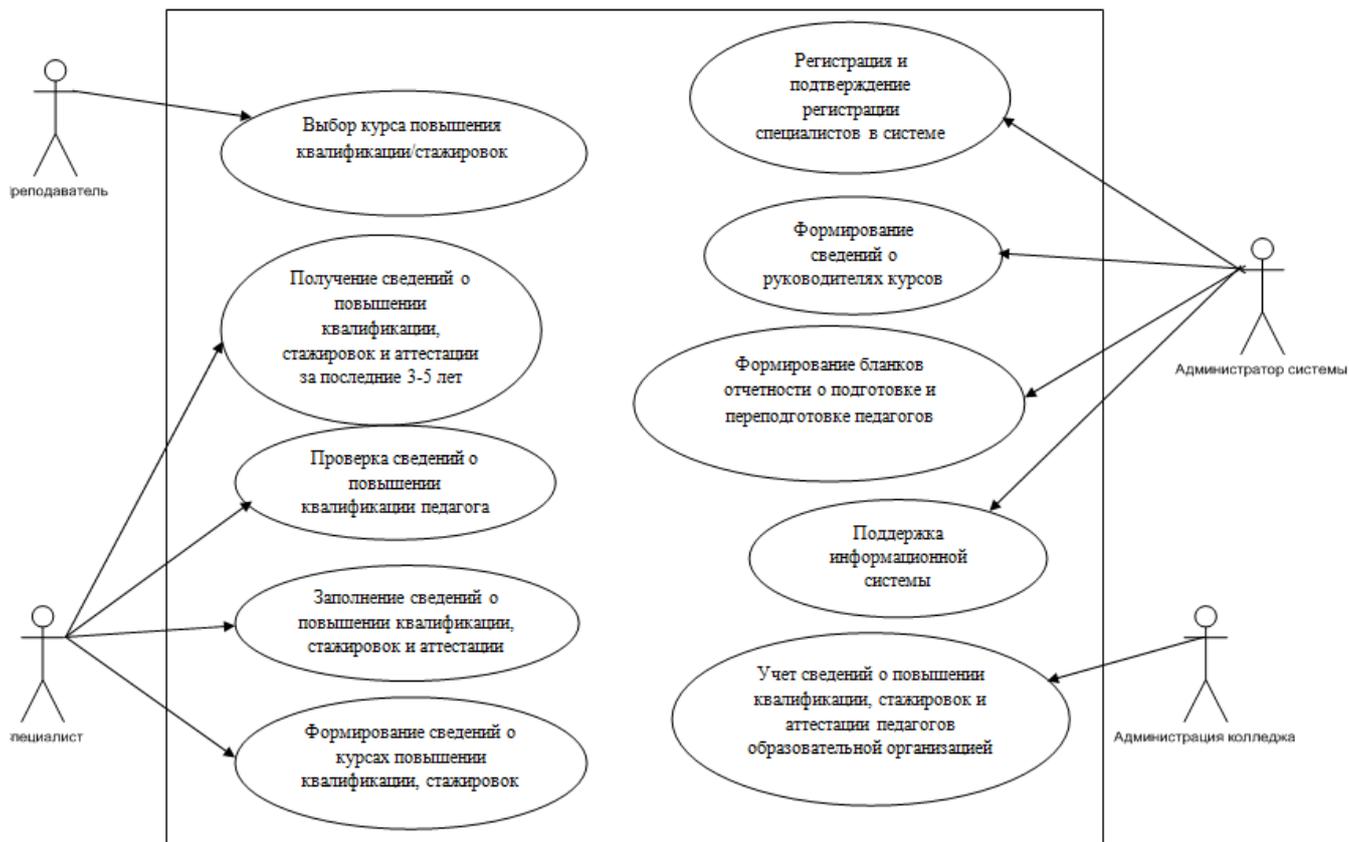


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

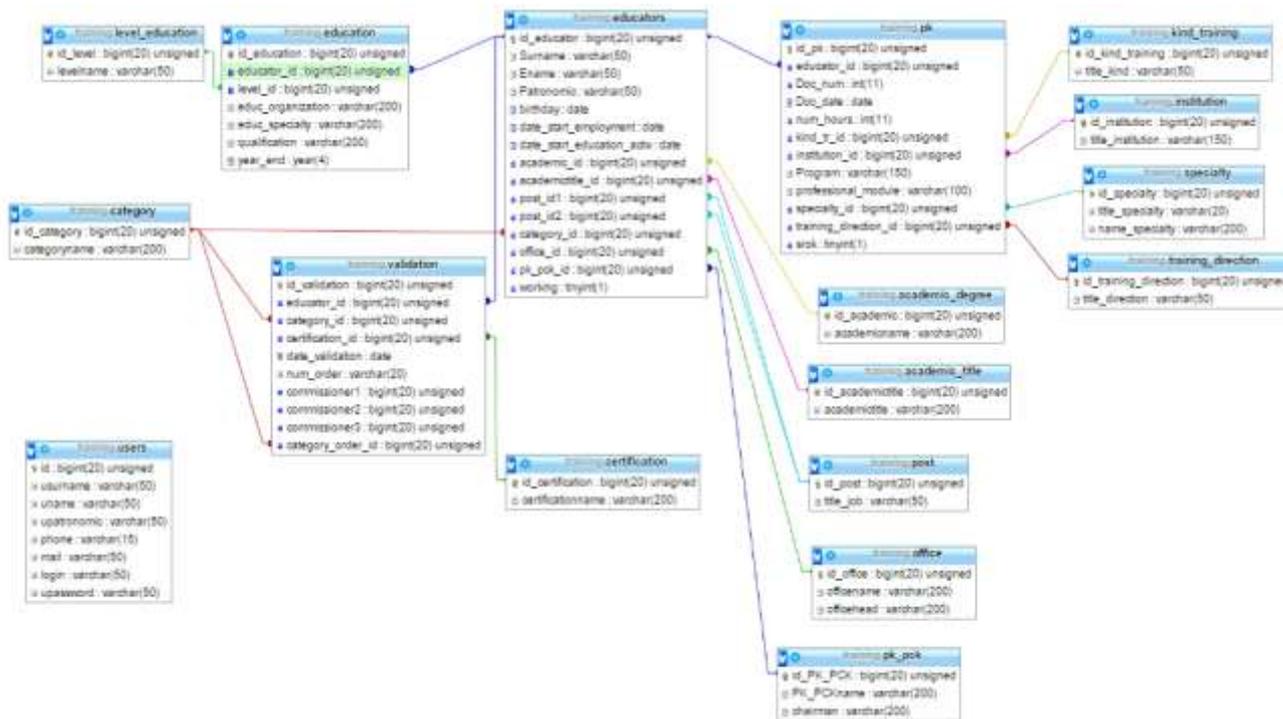


Рис.2. Физическая модель базы данных

id	usurname	uname	upatronic	phone	mail	login	upassword
1	Сагитова	Янгузель	Сагадеевна	89642473626	yanguzelechka@mail.ru	admin	21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3
2	Сидорова	Наталья	Викторовна			n.sidorova	136190653a5195a914fb0e715934ecdf
3	Федосеева	Юлия	Валерьевна			y.fedoseeva	0695e7d0d60117b21c6e2f8d3f765970

Рис.3. Фрагмент таблицы для хранения информации о пользователях

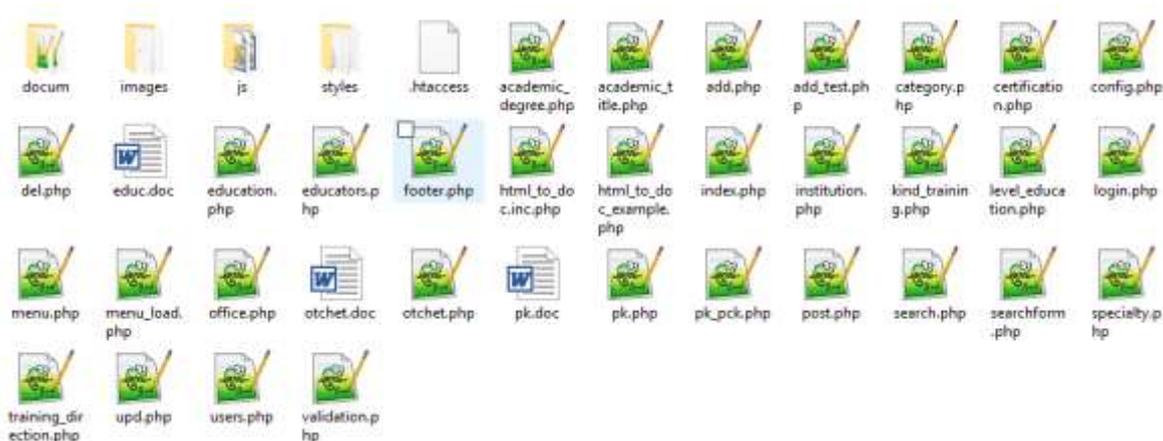


Рис.4. Физическая структура сайта

Для разработки АИС «Учет процессов повышения квалификации и стажировок педагогических работников» использовались такие web-инструменты, как:

- язык гипертекстовой разметки текста HTML (Hyper Text Markup Language);
- язык, содержащий набор свойств, для определения внешнего вида документа CSS (Cascading Style Sheets);
- скриптовый язык PHP (Personal Home Page);
- система управления базами данных (СУБД) MySQL;
- объектно-ориентированный скриптовый язык программирования JavaScript;
- библиотека JavaScript – jQuery [4].

#### Реализация информационной системы и результаты внедрения

Для обеспечения информационных потребностей специалистов по учету повышения квалификации работников образования в Многопрофильном колледже была разработана и введена в эксплуатацию АИС «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников», являющаяся web-приложением.

Доступ к АИС «Учет процессов повышения квалификации и стажировок педагогических работников» осуществляется при помощи внутренней локальной сети Intranet через IP-адрес.

Одним из важных пунктов является защита сервера и базы данных от случайных или намеренных действий, способных привести к удалению, изменению или обнаружению данных. С помощью средств управления пользователями и привилегиями администратором был открыт доступ к серверу базы данных двум пользователям – специалисту по учету стажировок и специалисту по учету повышения квалификации. Пароли и логины хранятся в базе данных в зашифрованном при помощи алгоритма шифрования MD5 виде (рис.3).

Все построение АИС «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников» разбито на физическую структуру (рис. 4), которая включает файлы, используемые для работы web-сайта, и логическую структуру (рис. 5), где сайт делится на элементы управления, которые предоставлены пользователям.

При запуске АИС «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников» открывается главная страница, фрагмент которой представлен на рис.6. Навигация реализована с помощью пунктов меню.

Специалисту, в чьи функции входит учет повышения квалификации, недоступна информация по стажировкам, и наоборот.

При приеме нового педагогического работника, специалист может его добавить, выполнив команду «Сотрудники»->«Добавить» и заполнив форму, приведенную на рис. 7. Кроме того, при увольнении сотрудника, ему можно изменить статус на «уволен», нажав кнопку .

По нажатию кнопки «Составить отчет» выводится отчет со списком сотрудников, не отчитавшихся по планируемому повышению квалификации, который в последующем с помощью команды «Импорт в Word» можно импортировать в Word для дальнейшей работы с ним (рис.8).

При нажатии на кнопку «Архив» можно ознакомиться с «устаревшими» документами о повышении квалификации сотрудниками колледжа, т.е. со списком тех, у которых с момента предыдущего повышения аттестации прошло более трех лет.

Все данные сотрудников можно редактировать, нажав на кнопку . В дальнейшем отредактированные данные можно сохранить (рис.9).

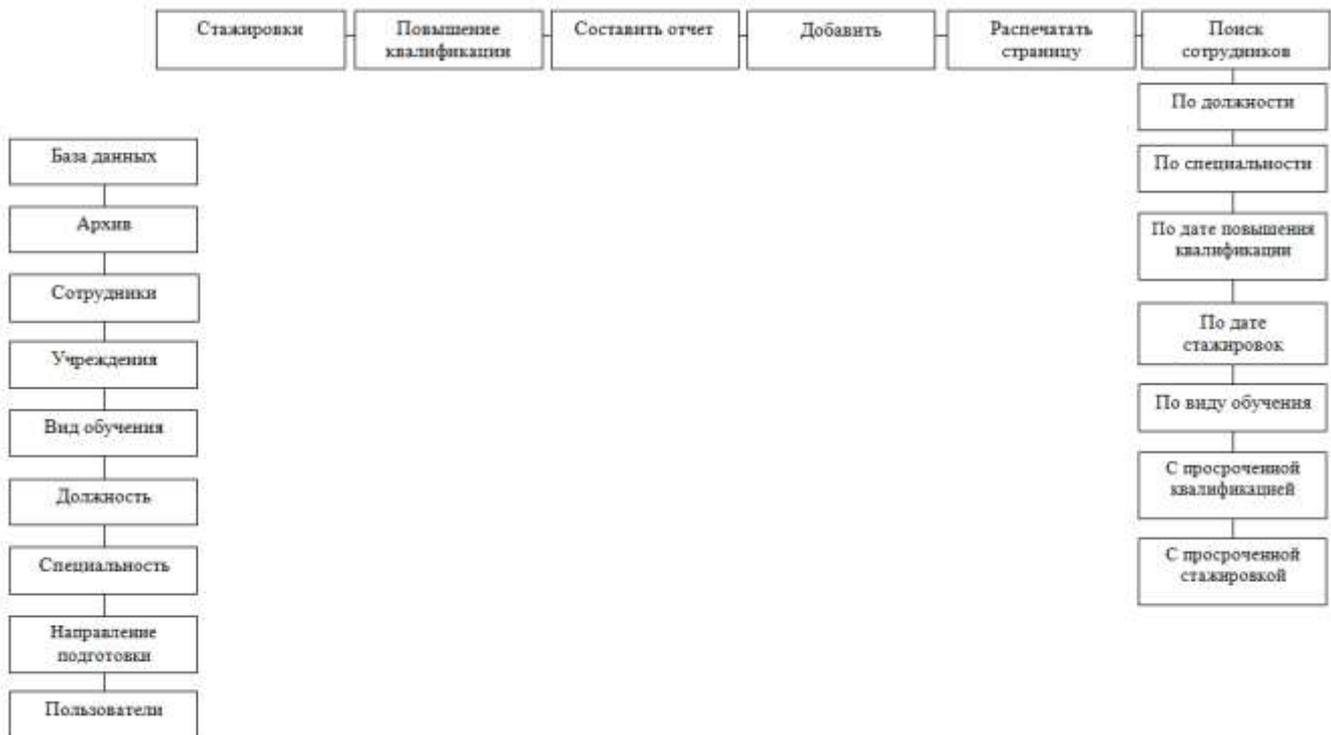


Рис. 5. Логическая структура сайта

Должность	Наименование программы	Место прохождения	Форма прохождения	Срок прохождения	Кол. во часов	Документ подтверждающий повышение квалифи...	Дата	Статус
Преподаватель		ИДПО МГТУ "Тарко"	Повышение квалификации в форме стажировки	2012-10-08	72		06.02.01	✖
Преподаватель	Исследование деятельности юридического отдела ООО	ООО «СтройРемонтКонтакт»	Повышение квалификации в форме стажировки	2015-05-30	72	9501	МВД.01.02. Проверка, регулирование деятельности 46.02.01. РН.04 Организация процесса приготовления и приготовления спсобупользов.лучше конферсыон. коратей 19.02.10	✖
Преподаватель	Организация работы кондитерского цеха	ИП И.А. Литвинку "Пан-кафе"	Повышение квалификации в форме стажировки	2015-01-27	72	4262		✖

Рис.6. Фрагмент главной страницы

№	Фамилия	Имя	Отчество	Должность	Работает/не работает	Статус
1	Абрамзон	Альберт	Александрович	преподаватель	работает	✖
2	Авдеева	Наталья	Васильевна	преподаватель	работает	✖
3	Абросимова	Эльвира	Землячкова	преподаватель	работает	✖
4	Авдеева	Ирина	Владимировна	преподаватель	работает	✖
5	Аверина	Мария	Владимировна	преподаватель	работает	✖
6	Аверина	Галина	Александровна	преподаватель	работает	✖

Рис.7. Форма добавления нового сотрудника

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА**  
 Многопрофильный колледж

Добро пожаловать,  
 Януэль Сагаденко  
 Выход

Стажировка | Повышение квалификации | Составить отчет | Рассчитать страницу | Поиск сотрудников  
 Выход в Word | Составить отчет по отсутствующим документам

Повышение квалификации, стажировка штатных педагогических работников и внутренних совместителей

ФИО	Должность	Наименование программы	Место проведения	Форма проведения	Срок проведения	Кол-во часов	Документ, подтверждающий повышение квалификации
Абросимова Эльвира Эминовна	Преподаватель	"Современные технологии преподавания иностранного языка"	ИДПО «Горизонт» ФГБОУ ВПО «МГТУ»	Повышение квалификации	2014-11-21	12	
Аверченко Мария Владимировна	Преподаватель	«Современные технологии преподавания иностранного языка»					
Абросимова Эльвира Эминовна	Преподаватель						
Гаврилова Валентина Григорьевна	Преподаватель						

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
 "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"  
 Многопрофильный колледж

УТВЕРЖДАЮ  
 \_\_\_\_\_  
 /И.О. Фамилия/ \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
 Директор

Отчет об организации дополнительного профессионального образования педагогических работников многопрофильного колледжа за \_\_\_\_ г.

№	ФИО	Наименование программы	Место проведения	Форма проведения	Срок проведения	Кол-во часов	Документ, подтверждающий повышение квалификации
	Абросимова Эльвира Эминовна	"Современные технологии преподавания иностранного языка"	ИДПО «Горизонт» ФГБОУ ВПО «МГТУ»	Повышение квалификации	2014-11-21	12	
	Аверченко Мария Владимировна	«Современные технологии преподавания иностранного языка»	ИДПО «Горизонт» ФГБОУ ВПО «МГТУ»	Повышение квалификации в форме стажировки	2014-11-21		
	Гаврилова Валентина Григорьевна	123	Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова	Повышение квалификации	2016-04-11		

Согласовано  
 Заместитель директора по УМР \_\_\_\_\_  
 И.О. Фамилия

Рис.8. Формирование отчета по сотрудникам, вовремя не отчитавшимся о повышении квалификации

Стажировка | Составить отчет | Рассчитать страницу | Поиск сотрудников

Повышение квалификации, стажировка штатных педагогических работников и внутренних совместителей

№	Фамилия	Имя	Отчество	Должность	Работаете ли вы?
1	Абдрахимов	Альберт	Алмазович	Преподаватель	ушел

Рис. 9. Редактирование данных по сотруднику «Абдрахимов»

Повышение квалификации, стажировка штатных педагогических работников и внутренних совместителей

☞ по фамилии | ☞ по дате документа | Сортировать

ФИО	Должность	Наименование программы	Место проведения	Форма проведения	Срок проведения	Кол-во часов	Документ, подтверждающий повышение квалификации	Приведенность профессиональному модулю специальности
Абдрахимов Альберт Алмазович	Преподаватель	Исследования деятельности юридического отдела ООО	ООО «СтройРемонт/онтаж»	Повышение квалификации в форме стажировки	2016-06-30	72	0601	МФД 01 02. Правовое регулирование управленческой деятельности 46.02.01
Абдрахимов Альберт Алмазович	Преподаватель		ИДПО МГТУ "Торск"	Повышение квалификации в форме стажировки	2012-10-08	72		08.02.01
Авдеева Ирина Владимировна	Преподаватель	Организация работы кондитерского цеха	ИП И.А. Литвинку "Пан-кафе"	Повышение квалификации в форме стажировки	2016-01-27	72	0252	ПМ 01 Организация процесса приготовления и приготовления хлебобулочных изделий кондитерских изделий 19.02.10
Алутин Владимир Михайлович	Преподаватель	Электронное и электромеханическое оборудование	ИДПО МГТУ "Торск"	Повышение квалификации в форме стажировки	2013-03-01	72		08.02.01
Алутин Владимир Михайлович	Преподаватель	Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования	ИДПО МГТУ "Торск"	Повышение квалификации в форме стажировки	2013-03-01	72		08.02.01
Алутин Владимир Михайлович	Преподаватель	Реализация процессов монтажа комплектации электромеханических устройств	ООО "ООС"	Повышение квалификации в форме стажировки	2016-02-12	36	0397	ПМ 01 Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования 13.02.11
Андреева Надежда Алексеевна	Мастер производственного обучения	Новые технологии монтажа силового электрооборудования на станциях	ИДПО МГТУ "Торск"	Повышение квалификации в форме стажировки	2014-04-18	72	5401	08.02.01
Антропова Наталья Владимировна	Преподаватель	Современные технологии в преподавании математики	ИДПО МГТУ "Торск"	Повышение квалификации в форме стажировки	2016-04-06	20	0002	08.02.01

Рис.10. Фрагмент рабочего окна со списком сотрудников, отсортированных по алфавиту

В АИС «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников» организован поиск информации по многим критериям, а именно, по фамилии сотрудника, по специальности, по дате повышения квалификации и т.п. А для удобства специалистов,

работающих с данной системой, предусмотрена сортировка данных, например, по алфавиту, по дате прохождения стажировки/повышения квалификации (рис.10).

## Заключение

Разработана АИС «Учет повышения квалификации и стажировок педагогических работников», предназначенная для автоматизации учета процессов повышения квалификации и профессиональной переподготовки педагогов, стажировки штатных педагогических работников и внутренних совместителей образовательного учреждения на примере Многопрофильного колледжа ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

Данная система проходит апробацию в условиях функционирования информационного пространства Многопрофильного колледжа с сентября 2016 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ошмарин А.Н. Информатизация современного общества и тесно связанная с ней информатизация образования/[Электронный ресурс] URL: <http://referat.znate.ru/text/index-17229.html> (дата обращения 17.11.2016).
2. Григорьев С.Г., Гриншкун В.В. Учебник «Информатизация образования», 2005, 221 с./[Электронный ресурс] URL: <http://gigabaza.ru/doc/34999-pall.html> (дата обращения 17.11.2016)
3. Бачурина Л.А. Управление информационной деятельностью в системе повышения квалификации работников образования на базе компьютерных технологий (на примере Воронежской области): дис. ... канд. техн. наук Воронеж. гос. тех. университет, Воронеж, 1998. /[Электронный ресурс] URL: <http://www.dissercat.com/content/upravlenie-informatsionnoi-deyatelnostyu-v-sisteme-povysheniya-kvalifikatsii-rabotnikov-obra> (дата обращения 17.11.2016)
4. Студия сайтов Натальи Пестеревой. Web-инструменты для разработки сайтов/[Электронный ресурс] URL: <http://www.sozdanie-saitov-py.ru/web-instruments> (дата обращения 17.11.2016)

## AUTOMATED INFORMATION SYSTEM «ACCOUNTING OF THE TEACHING STAFF'S PROFICIENCY LEVEL»

Fedoseeva Yu.V.<sup>1</sup>, Zorina I.G.<sup>2</sup>, Tutarova V.D.<sup>3</sup>, Sagitova Ya.S.<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Multiprofile college

**Abstract.** This article describes the process of developing an automated information system “Accounting of the teaching staff’s proficiency level”, which aims to make automated the process of accounting the teaching staff and internal part time workers’ training, their proficiency level and traineeship in the educational institution.

**Keywords:** automated information system; education; training; traineeship; teaching staff.

## REFERENCES

1. Oshmarin A.N. Informatizaciya sovremennogo obshchestva i tesno svyazannaya s nei informatizaciya obrazovaniya/[Elektronnii resurs] URL: <http://referat.znate.ru/text/index-17229.html> (accessed 17 November 2016).
2. Grigorev S.G., Grinshkun V.V. Uchebnik «Informatizaciya obrazovaniya» 2005, 221 p./[Elektronnii resurs] URL: <http://gigabaza.ru/doc/34999-pall.html> (accessed 17 November 2016)
3. Bachurina L.A. Upravlenie informacionnoi deyatelnostyu v sisteme povysheniya kvalifikatsii rabotnicov obrazovaniya na baze compyuternih tehnologii(na primere Voronezhskoi oblasti): dis. ... kand. tehn. nauk Voronezh. gos. teh. universitet, Voronezh, 1998. /[Elektronnii resurs] URL: <http://www.dissercat.com/content/upravlenie-informatsionnoi-deyatelnostyu-v-sisteme-povysheniya-kvalifikatsii-rabotnikov-obra> (accessed 17 November 2016)
4. Studiya saitov Natali Pesterevoi. Web-instrumenti dlya razrabotki saitov/[Elektronnii resurs] URL: <http://www.sozdanie-saitov-py.ru/web-instruments> (accessed 17 November 2016)

УДК 681.5.015.32

**ДОСТОВЕРНОЕ И ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
УПРАВЛЯЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ**

**Б.Н. Парсункин<sup>1</sup>, Т.Г. Сухоносова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
г. Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup> tgobuhova@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассмотрена математическая модель программной реализации достоверного и оперативного метода определения значений динамических параметров управляемого технологического процесса для определения динамических параметров настройки микропроцессорных контуров управления в условиях интенсивного негативного воздействия технологических и организационных возмущений, характерных для реального производства. Эффективное решение поставленной задачи обеспечивается использованием уникальных свойств ортогональных функций Уолша, позволяющих формирование таких планов тестирующих воздействий, которые полностью компенсируют негативное влияние возмущающих воздействий на интегральную оценку отклика (реакцию) управляемого параметра на тестирующее входное воздействие. Использование предлагаемого метода особенно целесообразно при решении многих практических задач, когда необходимо получать достоверные результаты в условиях действия различных возмущающих факторов влияющих на точность определяемого параметра.

**Ключевые слова:** динамические параметры объекта управления, определение параметров объекта, функция Уолша, компенсация возмущений, тестирующие воздействия, интегральная оценка.

**Введение**

При адаптации современного микропроцессорного регулирующего комплекса (МРК) к управляемому технологическому процессу приоритетной задачей является оперативное и достоверное определение динамических параметров объектов управления: коэффициента передачи объекта  $K_{об}$ , постоянной времени  $T_{об}$ , характеризующей инерционные свойства, и времени запаздывания  $\tau_3$ , характеризующего запаздывающие свойства объекта. Решение поставленной задачи по каждому контуру управления в реальных производственных условиях требует достаточно высокой квалификации и знаний.

Наиболее целесообразно в этом случае применение активного метода, предусматривающего подачу на вход управляемого объекта идентифицирующих тестирующих возмущающих воздействий.

В качестве возмущающих воздействий используются детерминированные периодические сигналы в виде последовательности скачкообразных возмущений [1].

По реакции (отклику) технологического параметра (кривым разгона) определяются искомые динамические параметры, являющиеся исходными данными для расчета динамических параметров настройки контуров управления:  $K_r$  – коэффициента передачи регулятора,  $T_{из}$  – времени изодрома и  $T_{п}$  - времени предварения.

В производственных условиях различные технологические и организационные возмущения являются причиной значительных ошибок в определении динамических параметров объекта управления.

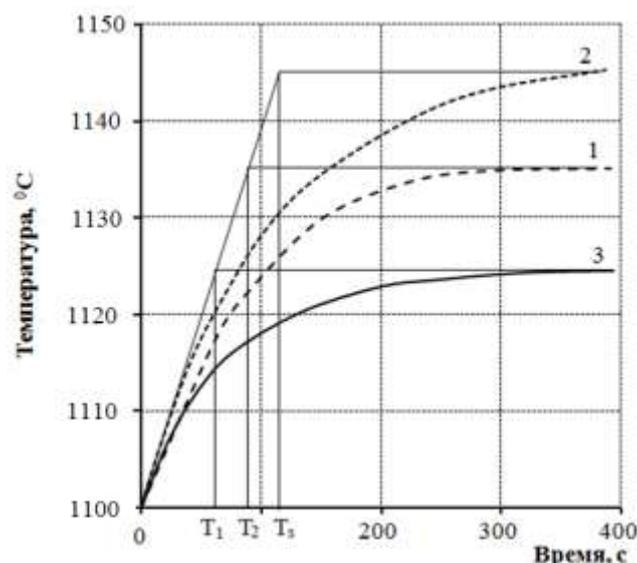
Например, кривые разгона по температуре поверхности нагреваемой заготовки в первой сварочной зоне методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции) при различных величинах расхода природного газа во второй сварочной зоне представлены на рис. 1. [2]. Динамические параметры, полученные при обработке экспериментальных кривых разгона на рис. 1 представлены в табл. 1. В зависимости от условий работы печи при равном управляющем воздействии 5% по расходу природного газа в первую сварочную зону изменения значений параметров объекта управления составляют, особенно для  $K_{об}$ , значительную величину.

Применительно к рассматриваемому случаю решение поставленной задачи сводится к формированию и реализации такого плана входных идентифицирующих (тестирующих) воздействий, при котором влияние технологических возмущений на определяемые значения динамических параметров объекта было бы минимальным (практически нулевым).

**Теоретическое обоснование метода**

Обоснование предлагаемого в работе метода рассмотрим на примере формирования и реализации плана входных возмущающих воздействий для технологического инерционного с запаздыванием объекта, динамические свойства которого можно представить передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{K_{об}}{T_{об}p + 1} e^{-\tau_3 p} . \quad (1)$$



**Рис. 1. Кривые разгона по температуре поверхности нагреваемой заготовки в первой сварочной зоне методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» при изменении управляющего воздействия на 5% (пояснения к рисунку в табл. 1)**

**Таблица 1**

**Динамические параметры, полученные по кривым разгона**

Номер линии на рис. 1.	Расход газа во второй сварочной зоне		Коэффициент передачи $K_{об}$ , °C/% хода	Постоянная времени $T_{об}$ , с	Время запаздывания $\tau_3$ , с
	Абсолютное значение возмущения, м <sup>3</sup> /ч	Относительное значение возмущения, м <sup>3</sup> /ч			
1	1500	0	6,8	89,5	2,5
2	1900	+ 400	8,9	112,5	2,5
3	1130	- 370	4,7	82,5	2,5

Конкретные значения определяются программно или графическим способом по траекториям экспериментальных кривых разгона, определяемых на интервале времени  $\Delta t$ , в течении которого значение входного управляющего воздействия остается постоянным. Величина  $\Delta t$  выбирается в интервале  $3T_{об} < \Delta t < 4T_{об}$  по каждому контуру управления и выбирается исходя из необходимости обеспечения погрешности определения  $K_{об}$  не более 2% [3].

В общем случае изменение во времени величины входного параметра  $X(\tau)$  (обычно угла поворота вала исполнительного механизма (ИМ) или регулирующего органа, измеряемых в процентах хода 0 – 100%) при однократных ступенчатых идентифицирующих воздействиях можно представить выражением:

$$X(\tau) = X_0 + A\varphi(\tau) \text{ при } 0 \leq \tau \leq T_{п}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – текущее время, с;  $T_{п}$  – общий интервал времени используемый для экспериментального поиска динамических параметров по всем переходным характеристикам по конкретному контуру управления;  $X_0 = X(\tau=0)$  – начальное положение ИМ, например, 50%;  $A = \Delta X$  – постоянная величина, определяющая величину амплитуды входного тестирующего воздействия, как правило равная 10 – 15%;  $\varphi(\tau)$  – формирующая функция, определяющая текущее значение входного управляющего параметра на интервале времени от 0 до  $T_{п}$ .

Функция  $\varphi(\tau)$  должна быть непериодической кусочно-монотонной, определяемой на интервале (0,  $T_{п}$ ) в соответствии с условием:

$$\varphi(\tau) = \sum_{i=1}^m \Psi_n(\tau_i) \cdot \varphi_0(\tau - i\Delta\tau), \quad i = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где  $m = T_{п}/\Delta\tau$  – количество переходных характеристик (кривых разгона), необходимых для достоверного определения значений  $K_{об}$ ;  $\Psi_n(\tau_i) \in (+1, -1)$  – сигнум-функция переключения направления возмущающих воздействий, постоянная на отрезке времени  $\Delta\tau_i = \tau_i - \tau_{i-1}$ , где  $\tau_i$  – моменты времени изменения направления входных возмущающих воздействий;  $\varphi_0(\tau)$  – единичная функция на промежутке времени  $\Delta\tau$  между двумя моментами подачи сигнальных идентифицирующих воздействий:

$$\varphi_0(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{при } \tau \leq 0, \quad \tau > \Delta\tau; \\ 1, & \text{при } 0 < \tau \leq \Delta\tau. \end{cases} \quad (4)$$

Для определенности примем, что на первом промежутке времени  $0 < \tau \leq \Delta\tau_1$  сигнум-функция  $\Psi_n(\tau) = 1$ .

В промышленных системах управления технологическими процессами используются ИМ постоянной

скорости  $K_{И} = 100/T_{ИМ}$ , где  $T_{ИМ}$  – время перекладки ИМ, то есть движения ИМ от одного крайнего положения (0% хода) до другого (100% хода). Поэтому для условий применения МРК в качестве амплитуды возмущающих воздействий целесообразно использовать время движения ИМ в определенном направлении  $\tau_{ВОЗМ}$  [4]:

$$\tau_{ВОЗМ} = \frac{A}{K_{И}} = \frac{\Delta X}{K_{И}}. \quad (5)$$

В установившемся режиме связь между входным и выходным параметрами объекта управления можно представить в виде:

$$Y(\tau) = Y_0 + A K_{ОБ} \varphi(\tau) + Y_C(\tau) \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T_{П}, \quad (6)$$

где  $Y(\tau)$  – текущее значение контролируемого технологического параметра управляемого процесса;  $Y_0 = Y(\tau=0)$  – начальное значение выходного параметра;  $Y_C$  – случайная составляющая  $Y(\tau)$ , вызванная влиянием неконтролируемых технологических возмущений.

Для определения величины  $K_{ОБ}$  рассмотрим интегральную оценку выходного параметра  $R(T_{П})$ :

$$R(T) = \frac{1}{T} \int_0^{T_{П}} Y(\tau) \cdot \Psi_n(\tau) d\tau \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T_{П}, \quad (7)$$

причем для сигнум-функции  $\Psi_n(\tau)$  на интервале времени  $(0, T_{П})$  должно выполняться первое условие:

$$\int_0^T \Psi_n(\tau) d\tau = 0. \quad (8)$$

Условие (8) означает, что на указанном в (7) интервале времени общее время, в течение которого  $\Psi_n(\tau) = +1$ , равно времени, в течении которого функция  $\Psi_n(\tau) = -1$  [2, 5].

После преобразований с учетом условий ограниченного значения интегральной оценки  $R(T)$  будет

$$R(T) = 0,5 K_{ОБ} + Z_C(T_{П}), \quad (9)$$

где  $Z_C(T_{П}) = \frac{1}{T_{П}} \int_0^{T_{П}} Y_C(\tau) \Psi_n(\tau) d\tau$ , – определяет величину

влияния технологических и организационных внешних возмущений на величину интегральной оценки  $R(T)$ .

Значит, переключающую функцию  $\Psi_n(\tau)$ , определяющую число и направление возмущающих воздействий, необходимо сформировать так, чтобы составляющая  $Z_C(T_{П})$  в (9) была по величине достаточно малой (практически нулевой). Это второе условие.

Для практического использования вычисление  $R(T)$  целесообразно осуществлять в соответствии с выражением:

$$R(T_{П}) = \frac{1}{T_{П}} \sum_{i=1}^m [Y(\tau_i) \Delta \tau] \cdot \Psi_n, \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T, \quad (10)$$

где  $Y(\tau_i)$  – значения управляемого параметра  $Y(\tau)$  в моменты времени  $\tau_i$  переключения значений функции  $\Psi_n(\tau)$ .

Учитывая, что  $T_{П} = \Delta \tau \cdot m$  получим:

$$R(T_{П}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y(\tau_i) \cdot \Psi_n(\tau). \quad (11)$$

Выражение достоверного значения  $K_{ОБ}$  в соответствии с (11) осуществляется достаточно просто и оперативно путем проведения активного эксперимента.

Функцию  $Y_C(\tau)$  на интервале времени проведения активного эксперимента по определению  $K_{ОБ}$  можно представить в виде полинома:

$$Y_C(\tau) = \sum_{k=0}^n a_k \cdot \tau^k + \delta_n(\tau), \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T_{П}, \quad (12)$$

где  $n$  – степень аппроксимирующего полинома;  $\delta_n(\tau)$  – функция ошибки представления случайного процесса  $Y_C(\tau)$  в виде полинома  $n$ -степени;  $a_k$  – постоянные коэффициенты полинома, полученные в результате решения задачи минимизации  $\delta_n(\tau)$  методом наименьших квадратов при  $k=0, 1, \dots, n$ .

В реальных условиях степень аппроксимирующего полинома  $n$  можно определить по предварительному изменению величины  $Y_C(\tau)$  на интервале времени  $T_{П}$ . Степень полинома  $n$  должна быть на единицу больше, чем число экстремумов изменения  $Y_C(\tau)$ .

С учетом (12) величину  $Z_C(T_{П})$  в (9) можно представить в виде [6]:

$$Z_C(T_{П}) = \frac{1}{T} \int_0^{T_{П}} \delta_n(\tau) \cdot \Psi_n(\tau) d\tau + \frac{1}{T_{П}} \sum_{k=0}^n a_k \int_0^{T_{П}} \tau^k \Psi_n(\tau) d\tau. \quad (13)$$

На основании (13) формулируется третье условие для определения искомой функции  $\Psi_n(\tau)$ :

$$\int_0^{T_{П}} \tau^k \cdot \Psi_n(\tau) d\tau = 0, \quad 0 \leq \tau \leq T_{П} \quad \text{и} \quad k=1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

Принятые условия позволяют не только проверить известные функции на соблюдение поставленных требований, но и синтезировать функцию  $\Psi_n(\tau)$ . Поставленным требованиям удовлетворяют функции из системы ортогональных функций Уолша [4, 7] вида:

$$\Psi_n(\tau) = \prod_{k=1}^{n+1} \text{Sign} \sin \frac{2^k \pi \cdot \tau}{T} \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T_{П}. \quad (15)$$

С учетом сказанного определение  $K_{ОБ}$  осуществляется с учетом выражения:

$$K_{ОБ} = \frac{2R(T_{П})}{A}. \quad (16)$$

Погрешность в решении поставленной задачи будет

$$Z_C(\tau) = \frac{1}{T_{П}} \int_0^{T_{П}} \delta_n(\tau) \Psi_n(\tau) d\tau \quad \text{при } 0 \leq \tau \leq T_{П}. \quad (17)$$

Функция  $\delta_n(\tau)$  на интервале  $0 \leq \tau \leq T_{П}$  является знакопеременной не менее  $n+1$  раз, причем не является линейной комбинацией функции  $\Psi_n(\tau)$ , которая в свою очередь также существенно нелинейная. Это позволяет обоснованно принять гипотезу о достаточно малой погрешности определения  $K_{ОБ}$  по предлагаемому методу.

## Результаты экспериментальной проверки рассматриваемого метода достоверного определения динамических параметров объекта управления

Достоверность и эффективность рассматриваемого метода планирования и реализации тестирующих воздействий при определении динамических параметров объекта управления исследовались на опытном лабораторном стенде и на методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК».

Опытный стенд обеспечивал условия измерения температуры рабочего пространства нагревательной печи. Различные траектории возмущающих воздействий, аппроксимированные полиномами различных степеней, задавались путем соответствующего перемещения движения реостата, включенного последовательно с нихромовой спиралью нагревателя.

Входные идентифицирующие воздействия задавались движением ИМ с помощью переключающей функции  $\varphi(\tau)$  на отрезке времени: +1 – движение ИМ на увеличение температуры; -1 – движение ИМ на уменьшение температуры.

Величина амплитуды тестирующих воздействий  $A$  во всех случаях оставалась постоянной и равной 5 с хода ИМ (около 16% хода ИМ) и на отрезке времени  $\Delta\tau = 350$  с не изменялась.

Исследовались различные планы входных идентифицирующих воздействий при различных траекториях внешних возмущающих воздействий, аппроксимируемых полиномами степеней  $0 \leq n \leq 3$ , что наиболее полно соответствует реальным производственным условиям.

По каждой экспериментальной кривой разгона определялись величины  $K_{\text{Об}}$ ,  $T_{\text{Об}}$  и  $\tau_3$  типовым графическим методом [1, 8-9]. За достоверные значения параметров каждой комбинации возмущающих воздействий, определяемых значениями  $m$ , принимались средние величины полученных значений параметров.

Исследование кривых разгона было проведено для трех состояний технологического управляемого процесса:

- при отсутствии технологических возмущений  $Y_C(\tau) = 0$ ;

- при действии возрастающего с постоянной скоростью возмущения  $Y_{C,1}(\tau) = 0,643\tau$ ;

- при действии технологического возмущения  $Y_{C,2}(\tau) = 46 - 1,77\tau + 0,017012\tau^2$ , траектория которого соответствует изменению температуры рабочего пространства в период между выдачей заготовок из печи.

В третьем, наиболее сложном, но более реальном случае, определение динамических параметров в соответствии с (15) для  $n=2$  необходимо производить по восьми ( $m = 2^3$ ) кривым разгона при  $T_{\text{П}} = 2800$  с.

При формировании и реализации всех планов учитывалось, что на интервале  $T_{\text{П}} = \Delta\tau$   $m$  число возмущений в направлении уменьшения  $Y_C(\tau)$  должно быть равно числу возмущений, направленных на увеличение  $Y_C(\tau)$ .

По каждой из 24 экспериментальных кривых разгона при отсутствии возмущений  $Y_C(\tau) = 0$  были определены динамические параметры объекта, средние значения которых приняты за действительные:  $K_{\text{Об}} = 13,72$  °C/с хода ИМ,  $T_{\text{Об}} = 89,78$  с и  $\tau_3 = 3$  с.

Полученные итоговые результаты по определению динамических параметров при различных вариантах планов тестирующих входных возмущающих воздействий представлены в табл. 2.

В табл. 2 представлены экспериментальные значения динамических параметров при реализации плана входных воздействий без возмущений и при наличии возмущения, траектория которого определяется полиномом второго порядка  $Y_{C,2}(\tau)$ , для компенсации которого наилучшим образом использована функция  $\Psi_{n=2}(\tau) = \{+1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1\}$  в соответствии с (15).

Анализ полученных результатов в табл. 2 показывает, что во всех рассмотренных случаях предлагаемый метод формирования и реализации входных возмущающих воздействий имеет преимущество перед другими (минимальную сумму ошибок  $\Delta_x$  при наличии возмущения).

## Заключение

Рассмотренный метод формирования и реализации входных идентифицирующих воздействий при определении достоверных значений динамических параметров управляемых технологических процессов в условиях интенсивного влияния различных возмущений позволяет получить объективную информацию за счет практически полной компенсации негативного влияния возмущений на величину определяемых параметров. Это обеспечит эффективную работу контуров управления технологическими параметрами производственного процесса.

Использование уникальных свойств ортогональных функций Уолша целесообразно при решении многих практических задач, когда требуется получение оперативной и достоверной информации в условиях действия технологических и производственных возмущений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балакирев В.С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления / В.С. Балакирев, Е.Г. Дудников, А.М. Цирлин. М.: Энергия, 1967. – 232 с.
2. Парсункин Б.Н. Формирование тестирующих сигналов для идентификации теплоэнергетических объектов управления / Б.Н. Парсункин, Г.Ф. Обухов, А.В. Леднов // Известия вузов. Теплоэнергетика. – 1988. – №6. – С. 65–70.
3. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования. Минск: Высшая школа, 1984. – 192 с.
4. Парсункин Б.Н. О планировании сигнальных воздействий при идентификации объектов управления // Известия вузов. Черная металлургия, 1988. – №4. – С. 97–101.
5. Парсункин Б.Н. Методика оценки эффективности мероприятия по совершенствованию показателей производственного процесса / Б.Н. Парсункин, Т.Г. Сухоносова, Е.И. Полухина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. – Т.14, №3. – С. 121–126.
6. Ефимов А.В. Математический анализ: Учебное пособие для вузов. Часть 1. М.: Высшая школа, 1980. – 427 с.
7. Леднов А.В. и др. Оперативное определение эффективности работы микропроцессорных систем управления технологическими процессами // Сталь. 1987. – № 9. – С. 101-104.

Динамические параметры объекта при различных вариантах плана тестирующих входных воздействий при траектории возмущения  $Y_{c,2}(\tau)$

Серия опытов	Вид плана входных возмущающих воздействий	Наличие возмущения	Среднее значение $T_{об}$ по серии, с			Среднее значение $K_{об}$ по серии опыта, °C/с хода			$\Delta_{\Sigma}$ , %	Приоритетное место метода по точности
			$T_{об}$ , с	$\Delta_T$ , с	$\delta_T$ , %	$K_{об}$ , °C/с хода	$\Delta_K$ , °C/с хода	$\delta_K$ , %		
1	+1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, +1	нет	93,35	3,57	3,98	14,12	0,4	2,92	4,9	3
		да	97,5	7,72	8,60	12,48	-1,24	-9,04		
2	+1, -1, +1, +1, -1, +1, -1, -1	нет	86,25	-3,53	3,93	13,16	-0,56	-4,08	5,7	2
		да	104,1	14,32	15,95	13,32	-0,4	-2,92		
3	+1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1	нет	89,75	-0,03	0,03	13,89	0,17	1,24	1,2	1
		да	95,94	6,16	6,86	13,08	-0,64	-4,66		

$\Delta_T$  – абсолютная погрешность определения  $T_{об}$ , с;

$\delta_T$  – относительная погрешность определения  $T_{об}$ , %;

$\Delta_K$  – абсолютная погрешность определения  $K_{об}$ , с;

$\delta_K$  – относительная погрешность определения  $K_{об}$ , %;

$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_T^2 + \Delta_K^2}$  – суммарная погрешность определения параметров объекта, %.

- Талалай А.М. Активная идентификация при адаптивном управлении // Автоматика и телемеханика, 1986. – № 9.
- Забиров Р.Р. Идентификация параметров объекта управления при комбинированной системе регулирования // Современные проблемы науки и образования. – 2005. – № 1. – С. 28–29.

## A RELIABLE AND OPERATION DEFINITION OF THE DYNAMIC PARAMETERS OF THE CONTROL TECHNOLOGICAL PROCESS UNDER INTENSIVE PERTURBATION ACTION

B.N. Parsunkin<sup>1</sup>, T.G. Sukhonosova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract.** The mathematical model of software implementation of a reliable and operation method for determining the values of dynamic parameters of the control technological process for determining dynamic parameters of tuning microprocessor control loops in conditions of intensive negative impact of technological and organizational disturbances characteristic for actual production. An effective solution to this problem is provided by using the unique properties of orthogonal Walsh functions, that allowing the formation of such plans of testing impacts that completely compensate for the negative effect of perturbation actions on the integral estimation response to the controlled parameter on the testing input impacts. The use of the proposed method is especially useful when solving many practical problems, when it is necessary to obtain reliable results under the conditions of the action of various perturbing factors affecting the accuracy of the parameter being determined.

**Keywords:** dynamic parameters of the control object, object parameters identification, Walsh function, perturbation compensation, testing impacts, integral estimation.

### REFERENCES

- Balakirev V.S., Dudnikov E.G., Tsirlin A.M. *Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления* [Experimental determination of the dynamic characteristics of industrial control objects], Moscow, Energiya, 1967, 232 p.
- Parsunkin, B.N., Obukhov G. F., Lednov A.V. Formirovanie testiruyushchih signalov dlya identifikatsii teploenergeticheskikh objektov [Creating test sinusoidal inputs for the identification of thermal power objects], *Izvestiya vuzov. Teploenergetika* [Proceedings of universities. Thermal power engineering], 1988, no.6, pp. 65–70.
- Kulakov G.T. *Inzhenernye ekspress-metody rascheta promyshlennykh sistem regulirovaniya* [Express engineering methods for calculation of industrial control systems], Moscow, Energiya, 1967, 232 p.

- 
- neering methods for calculating industrial regulation systems], Minsk, Vyshchaya School, 1984, 192 p.
4. Parsunkin B.N. On the design of signal interference in identification the of management objects [O planirovanii signal'nykh vozdeystviy pri identifikatsii ob'ektov upravleniya ], *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya [Proceedings of the universities. Ferrous metallurgy]*, 1988, no.4, pp. 97–101.
  5. Parsunkin B.N., Sukhonosova T.G., Polukhina E.I. A method of evaluating the performance of a production process improvement action [Metodika otsenki effektivnosti meropriyatiya po sovershenstvovaniyu pokazateley proizvodstvennogo protsesssa], *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]*. 2016, vol. 14, no. 3, pp. 121–126.
  6. Efimov A.V. *Matematicheskij analiz: uchebnoe posobie dlja vuzov. ch.1.* [Mathematical analysis: University student's guide. P.1], Moscow, Vyshchaya shkola, 1980, 427 p.
  7. Lednov A.V. Operative determination of the efficiency of microprocessor control systems of technological processes [Operativnoe opredelenie effektivnosti raboty mikroprotsessornykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami], *Stal [Steel]*, 1987, no.9, pp. 101-104.
  8. Talalay A.M. Active identification with adaptive control [Aktivnaya identifikatsiya pri adaptivnom upravlenii], *Avtomatika i telemekhanika [Automation and Remote Control]*, 1986, number 9
  9. Zabiroy R.R. Identification of the control object parameters in the combined control system [Identifikatsiya parametrov ob'ekta upravleniya pri kombinirovannoy sisteme regulirovaniya], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 2005, no.1, pp. 28-29.

УДК 004: 519.854

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ  
ФОРМИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПО СОСТАВАМ ПАРТИЙ ДАННЫХ  
В ДВУХУРОВНЕВОЙ ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РАСПИСАНИЙ  
ИХ ОБРАБОТКИ**

**К.В.Кротов**

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

krotov\_k1@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается двухуровневая задача определения составов партий данных и построения расписаний их обработки в конвейерных системах. Для решения задачи вводится в рассмотрение математическая модель процесса обработки партий в конвейерной системе, на основе которой обосновывается вид критериев эффективности решений по составам партий и расписаниям их обработки на уровнях иерархической системы. Для определения эффективных решений по составам партий данных используется подход на основе генетических алгоритмов. Построение расписаний обработки партий выполняется с использованием подхода, основывающегося на «жадных» стратегиях.

**Ключевые слова:** иерархическая игра, партии данных, расписания обработки партий, генетические алгоритмы.

*Актуальность работы*

При реализации современных информационных технологий возникает необходимость обработки больших массивов разнотипных данных. Примером такой информационной технологии является мониторинг земной поверхности с использованием спутниковых данных (данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли). Одной из задач мониторинга земной поверхности является оперативная идентификация различных видов природных явлений и загрязнений техногенного характера, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, определение условий их распространения (развития). Возможным способом решения задачи мониторинга является внедрение Интернет-сервисов (центров) обработки данных, предоставляющих удаленным пользователям услуги по тематической обработке спутниковых снимков. При условии, что в буфере приема центра обработки, предоставляющего соответствующие услуги, могут накапливаться данные от разных спутников, тогда системой реализуется обработка данных различных типов. Также на обработку поступает не единственный спутниковый снимок определенного типа (от одного спутника), а их набор. Таким образом, в буфере хранения данных центра предоставления услуг обработки спутниковых снимков (Интернет-сервиса обработки данных) одновременно находятся несколько наборов данных разных типов (несколько наборов снимков от различных спутников).

Обработка спутниковых снимков характеризуется свойством, определяющим возможность представления процесса обработки в виде последовательности этапов (фаз, стадий). Тогда для повышения производительности мониторинга обработка данных выполняется конвейерной системой [1]. В том случае, если в конвейерной системе выполняются операции с наборами спутниковых

данных разных типов, тогда возникает задача управления процессом обработки этих данных. Управление процессом обработки должно быть реализовано таким образом, чтобы обеспечить условие оперативности выдачи результатов и, как следствие, условие оперативности мониторинга земной поверхности на основе данных ДДЗ. Наборы данных разных типов могут быть обработаны в системе целиком либо могут быть разбиты на части, называемые партиями. Партия данных – это совокупность данных одного типа, входящих в набор данных, обрабатываемых в конвейерной системе. Задача управления процессом обработки является комплексной и предполагает решение двух подзадач: определения составов партий данных и построения расписаний их обработки в конвейерных системах. В итоге совместное решение сформулированных задач (определения составов партий и расписаний их обработки) должно гарантировать оперативность мониторинга земной поверхности (минимизацию времени обработки наборов данных разных типов). В силу изложенного решение задачи управления процессом обработки партий данных в конвейерных системах является актуальным.

*Основные проблемы и решения*

Анализ современных методов решения задач построения расписаний обработки партий данных представлен в работе [2]. Один из классов методов управления обработкой партий предполагает построение расписаний для фиксированного их состава, определение количества и размера партий до реализации процедуры построения расписаний (алгоритм определения составов партий не связан с характеристиками оборудования и процессом обработки, составы партий определяются без связи с построением расписаний). При этом использован аппарат частично целочисленного линейного программирования

(ЧЦЛП). Большая размерность модели, использование методов ЧЦЛП, задание ограниченного количества обрабатывающих приборов (ограниченного количества ресурсов) делают затруднительным определение решения для задач большой размерности за ограниченное время. В частности, один из подходов предполагает управление обработкой партий в непрерывном (химическом) производстве. Партиями в этом случае являются объемы материалов, участвующих в процессе производства (объемы партий определяются способом производства требуемого вида продукта, количеством конечного продукта, определяемым спросом). Тогда под управлением подразумевается распределение партий (размер которых не определяется) материалов различных видов, обеспечивающих выпуск продуктов разных типов, по параллельно действующим машинам. Альтернативным подходом, использующим аппарат ЧЦЛП, является решение задачи среднесрочного планирования выпуска продукции при ограниченном количестве ресурсов и последующего составления расписаний обработки сформированных при планировании партий. При этом под партией подразумевается совокупность изделий одного типа, выпуск которых закрепляется за определенным предприятием (производственным участком). Размеры партий определяются в соответствии с заказами на производство и директивными сроками их выпуска. Модель оптимизации составов партий учитывает только стоимостные параметры выпуска продукции, но не учитывает временные характеристики и особенности технологических процессов. На основе полученного распределения заказов по производственным участкам (сформированным составам партий изделий) решается задача выделения для них ресурсов с целью обработки. Совместно задача определения составов партий и формирования расписаний их обработки при этом не решается. Также для решения задач управления обработкой партий используется подход, предусматривающий определение количества и составов партий разнотипных требований, обрабатываемых на одном приборе, с заданными директивными сроками обработки и стоимостью доставки партий. Составы партий разнотипных требований формируются с учетом директивных сроков. Задача предполагает наличие одного обрабатывающего прибора, для которого отсутствуют простои при обработке партий. Формирование партий предполагает одновременное автоматическое построение расписания их обработки. В результате решается задача определения составов партий на основе заданных директивных сроков окончания обработки входящих в них требований. Объединение требований в партии реализуется с использованием эвристической процедуры в соответствии со значениями параметров начала обработки и директивными сроками окончания обработки. Альтернативным методом решения задачи управления обработкой партий, реализующим определение локально оптимальных решений по их составам и расписаниям обработки, являются приближенные алгоритмы, в частности метод отжига. Реализуется поиск в окрестностях текущего локально оптимального решения. Для формирования новых решений, входящих в окрестности, введены эвристические правила, оперирующие со случайно выбираемыми партиями, изменяющие

как составы партий, так и расписания их обработки (изменение позиции партии, изменение обрабатывающего прибора для выполнения операции, создание новых партий). Предложенный подход позволяет реализовывать стохастический поиск локально оптимальных решений. Наряду с использованием для определения составов партий эвристических процедур, реализуется также применение имитационных моделей, позволяющих моделировать прохождение партиями конвейерной системы. Определение эффективных составов партий предполагает задание параметров имитационной модели, соответствующих размерам партий изделий каждого типа, и проведения моделирования. В соответствии с результатами моделирования выбираются значения параметров размеров партий, обеспечивающие минимальное значение критерия. После того как с использованием моделирования определены оптимальные размеры партий, выполняется формирование расписаний их обработки. В итоге решение задачи определения составов партий и расписаний их обработки реализуется путем привлечения: 1) аппарата ЧЦЛП (при большой размерности задачи получение решения за ограниченное время является затруднительным, решения по составам партий формируются без учета расписаний их обработки); 2) методов формирования партий с учетом директивных сроков окончания обработки входящих в них требований; 3) эвристических процедур и правил (однако, применение правил не позволяет получить решения, приближающиеся к оптимальным). Т.о. эффективные составы партий определяются с привлечением аппарата ЧЦЛП, что делает затруднительным решение задач большой размерности, либо составы партий определяются, исходя из директивных сроков окончания обработки данных, либо составы партий определяются на основе эвристических правил, что не предполагает оптимизацию. Поэтому разработка моделей и методов определения эффективных составов партий и расписаний их обработки является актуальной задачей.

Целью работы является совершенствование методов решения задачи определения составов партий и расписаний их обработки в конвейерной системе. Реализация цели функционирования системы определения решений по составам партий и расписаниям их обработки обеспечивается ее декомпозицией на совокупность иерархически упорядоченных подцелей, каждая из которых реализуется на определенном уровне иерархии. В результате выполненной декомпозиции обобщенной функции системы в рассмотрение введена модель иерархической игры определения решений по составам партий и расписаниям их обработки. На основании предложенного иерархического подхода достижение сформулированной цели обеспечивается решением задач: а) обоснования модели процесса обработки партий данных в конвейерной системе; б) обоснования вида критериев оптимизации в модели иерархической игры, используемой для определения эффективных решений по составам партий данных и расписаниям обработки; в) обоснования метода оптимизации решений по составам партий данных; г) обоснования метода оптимизации решений по расписаниям обработки партий.

Под конвейеризацией выполнения программы подразумевается разделение её на фрагменты, каждый из которых закреплён за соответствующим сегментом конвейера. Маршруты обработки данных всех типов одинаковы, строго фиксированы и предполагают прохождение ими всех сегментов конвейера. В соответствии с [3] задача составления расписаний может быть представлена в виде:  $\alpha/\beta/\gamma$ , где  $\alpha$  соответствует классу обрабатываемой системы,  $\beta$  – типу решаемой задачи, характеризует ее особенности,  $\gamma$  – виду критерия оптимизации. Рассматривается конвейерная система, которая в [3] определена как *FlowShop*. Тогда в качестве  $\alpha$  указывается  $F$ . Решение задачи предполагает объединение обрабатываемых данных в партии. В этом случае в соответствии с [3] в качестве характеристики решаемой задачи указывается *batch*. Критерий, в соответствии с которым определяется эффективное расписание, учитывает особенности метода определения порядка обработки партий, реализующего жадный подход. Метод предполагает, что в последовательности обработки партий, порядок выполнения операций с которыми оптимизирован на предыдущих шагах алгоритма, добавляется новая партия данных и определяется ее эффективное местоположение в этих последовательностях. Поиск решения по порядку обработки партий обеспечивает реализацию внутренней цели функционирования системы, которая обуславливает необходимость эффективного использования оборудования системы (минимизацию простоев сегментов конвейера при обработке партий). Для классификации задачи в рассмотрение введено обозначение простоев отдельного  $l$ -го сегмента конвейера при обработке им партий в виде  $T_l^{ожс}$ . Критерий, используемый при определении расписания обработки партий, учитывает суммарные простои всех сегментов конвейера. Для классификации задачи критерий обозначен как  $\sum_{l=1}^L T_l^{ожс}$ . Тогда рассматриваемая задача классифицирована как:

$$F / batch / \sum_{l=1}^L T_l^{ожс}.$$

Сегменты конвейера следуют строго друг за другом, местоположение сегмента в последовательности определяется его номером. Т.к. через  $l$  обозначен индекс сегмента конвейера, тогда  $l = \overline{1, L}$ . В систему обработки поступают данные различных типов, обозначим их количество через  $n$ . Через  $i$  обозначим идентификатор типа обрабатываемых данных ( $i = \overline{1, n}$ ). Количество элементов в наборе однотипных данных, характеризуемых индексом  $i$ , обозначим как  $n^i$ . Данные  $i$ -того типа ( $i = \overline{1, n}$ ) обрабатываются соответствующей им программой. В системе используется  $n$  типов программ, обрабатывающих данные  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ). Однократное выполнение программы  $i$ -го типа позволяет обработать один элемент набора данных  $i$ -го типа. Так как набор данных  $i$ -го типа содержит  $n^i$  элементов, тогда обрабатываемая программа  $i$ -го типа должна быть выполнена  $n^i$  число раз.

Дисциплина выполнения программ в системе предполагает прохождение данными, которые они обрабатывают, всех сегментов конвейера, при этом если  $l$ -й сегмент приступил к обработке данных  $i$ -го типа, обработка не может быть прервана. Все сегменты конвейерной системы характеризуются равными и неизменными во времени значениями производительности их работы. Выполнение на  $l$ -м сегменте назначенной ему части  $i$ -ой программы характеризуется длительностью обработки данных этого типа.

Т.к. выполнена декомпозиция обобщенной цели функционирования системы на совокупность иерархически упорядоченных целей подсистем (функций, решаемых уровнях системы), тогда формирование решений осуществляется на этих уровнях следующим образом: первый – решения по составам партий данных, второй – решения по порядку обработки партий на сегментах конвейера (расписаниям обработки партий). Для формирования решений по составам партий данных введены обозначения:  $m_i$  – количество партий данных  $i$ -го типа ( $i = \overline{1, n}$ ), формируемых на первом уровне принятия решений, элементы  $m_i$  образуют вектор  $M$ , соответствующий количеству партий данных  $n$  типов;  $A$  – матрица, элемент  $A_{ih}$  которой – количество данных  $i$ -го типа в  $h$ -ой партии ( $h \leq m_i$ ). Решение, формируемое на первом (верхнем) уровне иерархии системы имеет вид:  $[M, A]$ , где  $M$  – вектор количества партий данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ),  $A$  – матрица количества данных в партиях (матрица составов партий).

В соответствии с решением по составам партий требуется определить порядки (последовательности) их обработки на сегментах конвейера, т.е. расписание обработки партий. Расписание обработки партий обозначим как  $\pi$ , оно представляет собой набор (множество) последовательностей  $\pi^l$  запуска партий на обработку на  $l$ -ых сегментах конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ). Расписание  $\pi$  имеет вид:  $\pi = \{\pi^1, \pi^2, \pi^3, \dots, \pi^L\}$ . Расписание  $\pi$  формируется в предположении, что порядок обработки партий является одинаковым на всех  $L$  сегментах конвейера. Для формализации вида последовательностей  $\pi^l$  расписания  $\pi$  в рассмотрении введена матрица порядка обработки партий  $P$ . Элемент  $p_{ij} = 1$ , если партия данных  $i$ -го типа занимает в последовательности  $\pi^l$   $j$ -ю позицию,  $p_{ij} = 0$  в случае, если партия данных  $i$ -го типа не занимает в последовательности  $\pi^l$   $j$ -ю позицию, размерность матрицы  $n \times n_p$ , где  $n$  – количество типов данных,  $n_p$  – количество партий в последовательностях  $\pi^l$  ( $n_p = \sum_{i=1}^n m_i$ ). Порядок обработки партий на всех сегментах одинаков, поэтому достаточно определения одной матрицы порядка  $P$ . В рассмотрение введена матрица  $R$  – матрица количества данных  $i$ -ых типов в партиях, занимающих в последова

тельность  $\pi^l$   $j$ -е позиции (элемент  $r_{ij}$  равен количеству данных  $i$ -го типа в партии, занимающей  $j$ -ю позицию в  $\pi^l$ , размерность матрицы  $n \times n_p$ ). Решение, формируемое на нижнем уровне иерархии в системе, имеет вид  $[P, R]$ .

При учете введенных обозначений модель двух-уровневой иерархической игры для определения решений по составам партий и расписания их обработки имеет вид [4,5]:

а) первый уровень:  $f_1([M, A], [P, R]^*) \rightarrow \min(\max)$ ;

б) второй уровень:  $f_2([P, R]) \rightarrow \min(\max)$ .

Для определения вида модели процесса обработки партий данных введены обозначения:  $t_i^l$  – время обработки данных  $i$ -го типа на  $l$ -ом сегменте конвейера ( $l = \overline{1, L}$ );  $t_{ik}^l$  – время переналадки  $l$ -го сегмента с обработки данных  $i$ -го типа на обработку данных  $k$ -го типа;  $t_{ii}^l$  – время первоначальной наладки  $l$ -го сегмента на обработку данных  $i$ -го типа;  $(t_{ik}^l)$  – матрица длительностей переналадок сегментов конвейера для типов данных, партии которых обрабатываются в системе;  $t_{ji}^{nl}$  – время начала обработки партии данных  $i$ -го типа, занимающей в последовательности  $\pi^l$   $j$ -ю позицию;  $(t_{ji}^{nl})$  – матрица моментов времени начала обработки партий данных  $i$ -ых типов, занимающих в  $\pi^l$   $j$ -е позиции;  $(t_{jq}^{ol})$  – матрица моментов времени начала обработки  $q$ -ых данных в партиях, занимающих в  $\pi^l$   $j$ -е позиции ( $q$  – порядковый номер данных в партии в  $j$ -ой позиции в  $\pi^l$  ( $q = \overline{1, n_j}$ ,  $n_j = \sum_{h=1}^n r_{hj}$  где  $n_j$  – количество данных в партии, занимающей  $j$ -ю позицию в  $\pi^l$ )).

Элементы матрицы  $(t_{ji}^{nl})$  определяются следующим образом:  $[t_{ji}^{nl}] = p_{ij} \cdot [t_{j1}^{ol}]$ , где  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, n_p}$ ,  $[t_{j1}^{ol}]$  – момент времени начала обработки первых данных в партии, занимающей  $j$ -ю позицию в  $\pi^l$ . Определение значений  $t_{ji}^{nl}$  и  $t_{jq}^{ol}$  ( $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, n_p}$ ;  $l = \overline{1, L}$ ;  $q = \overline{1, n_j}$ ,  $n_j = \sum_{h=1}^n r_{hj}$ ) выполняется в соответствии с подходом [2].

Для  $(q=1)$ -ой позиции данных  $i$ -го типа в  $(j=1)$ -ой партии в  $\pi^l$  выражение для определения  $t_{11}^{ol}$  формируется при учете параметра  $t_{ii}^l$  – времени наладки сегмента на обработку данных  $i$ -го типа:  $t_{11}^{ol} = t_{11}^{nl} = t_{ii}^l$ .

Для  $q > 1$  ( $q = \overline{2, n_1}$ ,  $n_1 = \sum_{h=1}^n r_{h1}$ ) имеем [2]:

$$t_{1q}^{ol} = \sum_{h=1}^n t_{hh}^l \cdot p_{h1} + (q-1) \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{h1}.$$

В этом выражении первое слагаемое определяет длительность наладки сегмента конвейера на обработку данных в первой позиции в  $\pi^l$ , второе слагаемое – длительность обработки данных в первой партии, предшествующих данным в  $q$ -ой позиции. Для позиции  $(q=1)$  данных  $(j=2)$ -ой партии в  $\pi^l$  для  $t_{2q}^{ol}$  имеем: если

$t_{i_1 i_2}^{lnep}$  – время переналадки первого сегмента конвейера с

обработки данных  $i$ -го типа (первая позиция партии в  $\pi^l$ ) на обработку данных другого типа (вторая позиция партии в  $\pi^l$ ), а  $r_{i1}$  – количество данных  $i$ -го типа в партии в первой ( $j=1$ ) позиции в  $\pi^l$ , тогда

$$t_{2i}^{nl} = t_{21}^{ol} = \sum_{h=1}^n t_{hh}^l \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot r_{h1}^l + t_{i_1 i_2}^{lnep}, \quad \text{где}$$

значение  $t_{i_1 i_2}^{lnep}$  определяется следующим образом:

$$t_{i_1 i_2}^{lnep} = t_{i_r i_{r'}}^l, \quad \text{где} \begin{cases} i_r = i / p_{i1}^l = 1, i = \overline{1, n} \\ i_{r'} = j / p_{j2}^l = 1, j = \overline{1, n} \end{cases}.$$

Для  $q > 1$  ( $q = \overline{2, n_2}$ ,  $n_2 = \sum_{h=1}^n r_{h,2}$ ) значения  $t_{2q}^{ol}$

определяются выражением:

$$t_{2q}^{ol} = \sum_{h=1}^n t_{hh}^l \cdot p_{h1} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot r_{h1}^l + t_{i_1 i_2}^{lnep} + (q-1) \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{h2}, \quad q = \overline{2, n_2}.$$

Обобщенное выражение для  $t_{j1}^{ol} = t_{ji}^{nl}$  при  $j > 2$

для  $\pi^l$  имеет вид:

$$t_{ji}^{nl} = \sum_{h=1}^n t_{hh}^l \cdot p_{h1} + \sum_{f=1}^{j-1} \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot r_{hf}^l + \sum_{h=1}^{j-1} t_{i_h i_{h+1}}^{lnep},$$

моменты времени начала обработки  $q$ -ых данных в партии с  $j > 2$ :

$$t_{jq}^{ol} = \sum_{h=1}^n t_{hh}^l \cdot p_{h1} + \sum_{f=1}^{j-1} \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot r_{hf}^l + \sum_{h=1}^{j-1} t_{i_h i_{h+1}}^{lnep} + (q-1) \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{h1}^l$$

Выражения для  $t_{jq}^{ol}$  и  $t_{ji}^{nl}$  сформированы следующим образом [2]:

$$t_{11}^{ol} = t_{11}^{nl} = \max\left(\sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{h1}; t_{11}^{ol-1} + \sum_{h=1}^n t_h^{l-1} \cdot p_{h1}\right);$$

$$t_{j1}^{ol} = t_{ji}^{nl} = \max\left(t_{j-1, n_{j-1}}^{ol} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{h, j-1} + \right.;$$

$$\left. + t_{i_{j-1} i_j}^{lnep}; t_{j1}^{ol-1} + \sum_{h=1}^n t_h^{l-1} \cdot p_{hj}\right)$$

$$t_{jq}^{ol} = \max\left(t_{jq-1}^{ol} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{hj}; t_{jq}^{ol-1} + \sum_{h=1}^n t_h^{l-1} \cdot p_{hj}\right).$$

Полученные выражения представляют собой модель процесса обработки партий данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ) на  $l$ -ых сегментах конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ). Метод построения расписаний обработки партий на втором уровне системы реализует жадных подход, что преду-

считывает добавление одной партии рассматриваемого  $i$ -го типа в конец последовательностей  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) и определение эффективного местоположения этой партии в  $\pi^l$ . При формировании вида критерия эффективности построения расписаний в основу рассуждений положена внутренняя цель функционирования системы, в соответствии с которой требуется минимизировать время простоя конвейера при обработке партий. Тогда значение критерия при определении эффективной позиции рассматриваемой партии в  $\pi^l$  характеризует простой сегментов конвейера при обработке текущего количества партий, находящихся в последовательностях  $\pi^l$  (не всех рассматриваемых партий, а добавленных к текущему шагу алгоритма в последовательности  $\pi^l$ ). В этом случае критерий эффективности расписания обработки партий должен учитывать: простой сегментов в ожидании начала обработки партий (с учетом интервалов наладки, переналадки и последующего ожидания); простой сегментов в ожидании готовности данных при их обработке внутри партий.

Простой  $l$ -го сегмента в ожидании начала обработки первой партии в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) равен значению  $t_{11}^{0l}$ , суммарные простои сегментов в ожидании начала обработки партий в  $\pi^l$  определяется выражением вида  $\sum_{l=1}^L t_{11}^{0l}$ . Простой  $l$ -го сегмента в ожидании начала обработки следующей партии после окончания обработки предыдущей определяется выражением:

$$t_{j1}^{0l} - \left[ t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{h, j-1} \right],$$

где  $j = \overline{2, n_p}$ ,  $n_{j-1} = \sum_{h=1}^n r_{h, j-1}$  – количество данных в  $(j-1)$ -ой партии. Суммарные простои  $l$ -го сегмента в ожидании начала обработки  $j$ -ых партий ( $j = \overline{2, n_p}$ ):

$$\sum_{j=2}^{n_p} \left[ t_{j1}^{0l} - \left[ t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{h, j-1} \right] \right].$$

Тогда простой всех  $L$  сегментов в ожидании начала обработки партий определяется выражением вида:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p} \left[ t_{j1}^{0l} - \left[ t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{h, j-1} \right] \right]. \quad (1)$$

Простой  $l$ -го сегмента в ожидании готовности к обработке данных, занимающих  $q$ -ю позицию в  $j$ -ой партии в  $\pi^l$ , определяется как разность между моментом времени  $t_{jq}^{0l}$  начала обработки  $q$ -ых данных, моментом времени окончания обработки  $(q-1)$ -ых данных

$t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{hj}$ , и вычисляется выражением:

$$t_{jq}^{0l} - \left[ t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{hj} \right], \text{ где } q = \overline{2, n_j}.$$

Тогда суммарные простои  $l$ -го сегмента в ожидании готовности к обработке всех данных в  $j$ -ой партии в  $\pi^l$  вычисляется с использованием выражения:

$$\sum_{q=2}^{n_j} \left[ t_{jq}^{0l} - \left[ t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{hj} \right] \right]. \quad (2)$$

На основе (2) простой  $l$ -го сегмента в ожидании готовности к обработке данных внутри партий определяется выражением вида:

$$\sum_{j=1}^{n_p} \sum_{q=2}^{n_j} \left[ t_{jq}^{0l} - \left[ t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{hj} \right] \right].$$

Тогда простой всех сегментов конвейера в ожидании готовности данных внутри партий вычисляется выражением:

$$\sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{q=2}^{n_j} \left[ t_{jq}^{0l} - \left[ t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{hj} \right] \right]. \quad (3)$$

Критерий эффективности решения на втором уровне иерархии для текущего количества партий, добавленных в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ), учитывает суммарные простои сегментов конвейера при определении порядка обработки этих партий. При его формировании учтены: выражение для  $\sum_{l=1}^L t_{11}^{0l}$ , формулы (1) и (2). В этом случае критерий эффективности расписания обработки партий, добавленных в последовательности  $\pi^l$  имеет вид:

$$\begin{aligned} & \sum_{l=2}^L t_{11}^{0l} + \sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p} \left[ t_{j1}^{0l} - \left[ t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{h, j-1} \right] \right] + \\ & + \sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{q=2}^{n_j} \left[ t_{jq}^{0l} - \left[ t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot P_{hj} \right] \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Если  $n_p$  – количество партий, сформированных на верхнем уровне иерархии (соответственно, индекс последней сформированной партии), тогда  $n_{n_p}$  –

количество данных, входящих в последнюю  $n_p$ -ю партию (индекс последних данных в  $n_p$ -ой партии),

$t_{n_p, n_{n_p}}^{0L}$  – момент времени начала обработки последних

данных в партии с индексом  $n_p$  на  $L$ -ом сегменте конвейера, тогда момент времени окончания обработки этой партии на  $L$ -ом сегменте соответствует моменту времени окончания обработки всех данных в системе и определяется выражением вида:

$$t_{n_p, n_{n_p}}^{0L} + \sum_{h=1}^n t_h^L \cdot P_{h, n_p}.$$

Построение решений по составам партий данных должно быть выполнено таким образом, чтобы обеспечить минимизацию времени обработки всех данных, поступивших на вход конвейерной системы. Тогда полученное выражение, определяющее момент времени

окончания обработки всех данных, поступивших на вход системы, использовано в качестве критерия оптимизации решений на первом уровне иерархии. С учетом этого выражения и выражения (4) модель двухуровневого игры для определения эффективных составов партий и расписаний их обработки имеет вид:

– первый (верхний) уровень:  $\min f_1$ , где

$$f_1 = t_{n_p, n_p}^{0L} + \sum_{h=1}^n t_h^L \cdot p_{h, n_p};$$

– второй (нижний) уровень:  $\min f_2$ , где

$$f_2 = \sum_{l=2}^L t_{11}^{0l} + \sum_{l=1}^L \sum_{j=2}^{n_p} \left[ t_{j1}^{0l} - \left[ t_{j-1, n_{j-1}}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{h, j-1} \right] \right] + \\ + \sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{q=2}^{n_j} \left[ t_{jq}^{0l} - \left[ t_{j, q-1}^{0l} + \sum_{h=1}^n t_h^l \cdot p_{hj} \right] \right].$$

Для обоснования способа формирования решений по составам партий данных введены следующие условия и рассуждения (для некоторого  $i$ -го типа данных):

1) количество данных  $i$ -го типа в партиях не может быть менее 2 ( $a_{ih} \geq 2, h = \overline{1, m_i}$ );

2) минимальное количество  $m_i$  партий, которые могут быть сформированы из данных в количестве  $n^i$ , составляет две единицы; при этом в одну из партий включаются 2 единицы данных (т.е.  $a_{i1} = 2$ ), а состав второй партии предполагает включение в нее оставшихся данных (т.е.  $a_{i2} = n^i - a_{i1}$ );

3) максимальное количество  $m_i^{max}$  партий, которые могут быть сформированы из данных в количестве  $n^i$  определяется следующим образом:  $m_i^{max} = \left\lceil \frac{n^i}{2} \right\rceil$ , где

через  $\lceil \cdot \rceil$  обозначено округление в меньшую сторону.

Тогда количество данных  $i$ -го типа в каждой из  $m_i$  партий может изменяться от 2 до  $n^i - 2$ . В случае максимального количества  $m_i^{max}$  партий данных  $i$ -го типа в каждой из них может быть по 2 элемента этих данных. С другой стороны минимальное количество партий данных равно двум. При этом одна из партий содержит 2 элемента данных, другая  $n^i - 2$  соответственно.

С точки зрения аппарата генетических алгоритмов решение по составам партий всех  $n$  типов представляет собой одну хромосому. Тогда в хромосоме должно быть определено  $n$  участков, каждый из которых содержит  $m_i^{max}$  генов ( $i = \overline{1, n}$ ). Геном, образующим часть хромосомы, является информация о количестве данных  $i$ -го типа в одной из партий. Через  $q_{ih}$  обозначим значения гена (аллель), соответствующее значению  $a_{ih}$  элемента матрицы составов партий данных  $i$ -го типа. В соответствии с условием, что количество генов в участке

хромосомы, соответствующем решению по составам партий  $i$ -го типа, равно  $m_i^{max}$ , ген  $q_{ih}$  может принимать значение из множества  $q_{ih} \in \{0, 2, 3, \dots, n^i - 2\}$ .

В соответствии с базовым подходом использования генетических алгоритмов [6] процесс оптимизации решений предполагает наличие двух стадий: формирование начальной популяции (начальной совокупности решений), изменение популяции (совокупности решений) с целью определения приближенно оптимальных решений. Генерация начальной популяции предполагает формирование некоторого определенного количества хромосом (начальных решений), которые будут изменяться на второй стадии генетического алгоритма. Как было определено выше максимальное количество партий данных каждого типа определяется как

$m_i^{max} = \left\lceil \frac{n^i}{2} \right\rceil$ , тогда общее количество генов в формируемых хромосомах определяется как  $\sum_{i=1}^n m_i^{max}$ . Значения

генов  $q_{ih}$  ( $h = \overline{1, m_i^{max}}$ ) каждого  $i$ -го участка хромосомы ( $i = \overline{1, n}$ ) определяются в соответствии с следующим порядком шагов:

1) значение гена  $q_{i1}$  формируется путем выбора случайным образом одного из значений в множестве  $\{2, 3, \dots, n^i - 2\}$  ( $q_{i1} \in \{2, 3, \dots, n^i - 2\}$ ), т.е. первый элемент последовательности предполагается не нулевым; 2) перед формированием значения очередного  $h$ -го гена ( $h \neq 1, h = \overline{1, \frac{n^i}{2} - 1}$ ) выполняется проверка условия

$\sum_{h'=1}^{h-1} q_{ih'} > 3$ ; если данное условие не выполняется, тогда текущее значение  $h$ -го гена  $q_{ih}$  определяется следующим

образом:  $q_{ih} = n^i - \sum_{h'=1}^{h-1} q_{ih'}$ , после чего формирование  $i$ -

го участка хромосомы (для  $i$ -го типа данных) прекращается, выполняется переход на шаг 5; при выполнении введенного условия  $\sum_{h'=1}^{h-1} q_{ih'} > 3$  текущее значение  $h$ -го

гена  $q_{ih}$  формируется путем выбора случайным образом одного из значений в следующем множестве:

$$q_{ih} \in \{0, 2, 3, \dots, n^i - \sum_{h'=1}^{h-1} q_{ih'}\};$$

3) после формирования значения  $q_{ih}$   $h$ -го гена выполняется проверка условия  $(n^i - \sum_{h'=1}^h q_{ih'}) = 1$ , означающего

невозможность формирования новой партии данных рассматриваемого типа; если данное условие выполняется, тогда текущее значение  $q_{ih}$   $h$ -го гена инкрементиру-



Рис.1. Реализация алгоритма формирования хромосомы, соответствующего начальному составу партий

ется ( $q_{ih} = q_{ih} + 1$ ), осуществляется переход на шаг 5; в случае не выполнения введенного условия реализуется переход к формированию значения  $q_{ih}$  следующего  $(h+1)$ -го гена – реализуется переход на шаг 2;

4) перед определением значения последнего  $m_i^{\max}$ -го гена

выполняется проверка условия  $\sum_{h'=1}^{m_i^{\max}-1} q_{ih'} \geq 2$ , в случае его

выполнения значение  $q_{i,m_i^{\max}}$  последнего  $m_i^{\max}$ -го гена в формируемом участке хромосомы для  $i$ -го типа данных определяется следующим образом:

$$q_{i,m_i^{\max}} = n^i - \sum_{h'=1}^{m_i^{\max}-1} q_{ih'}$$

если введенное условие не выполняется, тогда значение последний сформированного  $h$ -го гена, такого, что  $q_{ih} \neq 0$  инкрементируется ( $q_{ih} = q_{ih} + 1$ ), реализуется переход на шаг 5;

5) останов алгоритма формирования участка хромосомы, соответствующего  $i$ -му типу данных.

Пример реализации приведенного алгоритма для случая  $n^i = 16$  ( $i = \overline{1,3}$ ) представлен на рис. 1. На основе каждой формируемой хромосомы реализуется построение решения  $[M, A]$ , которое в дальнейшем интерпретируется как одно из решений по составам партий данных  $n$  типов. Таким образом, результатом формирования начальной популяции является полученная совокупность решений, которая в дальнейшем подлежит изменению в соответствии с генетическими операторами.

Генетическим операторами, реализуемыми при определении локально оптимальных решений, являются операторы селекции, кроссенговера (скрещивания), мутации и редукции. С целью избежания попадания в «ловушку» локального экстремума применена стохастическая селекция (селекция на основе рулетки). Оператор кроссенговера не предполагает стохастического определения точек скрещивания родительских хромосом для определения их потомков. Точки скрещивания хромосом имеют для рассматриваемой задачи строго заданное положение, определяемое границами участков этих хромосом, соответствующих различным типам данных. Стохастический характер кроссенговера заключается только в определении количества точек скрещивания. В отличие от оператора кроссенговера мутация в рассматриваемой задаче носит целиком стохастический характер и предполагает определение:

1) количества типов данных (соответственно, участков хромосом), для которых будет выполняться мутация генов;

2) местоположение (позиции)  $h_{i1}$  и  $h_{i2}$  генов, значения которых  $q_{i,h_1}$  и  $q_{i,h_2}$  подлежат мутации.

Под мутацией подразумевается изменение значений  $q_{i,h_1}$ ,  $q_{i,h_2}$  генов в позициях  $h_1$  и  $h_2$ , которые формируются случайным образом. При этом реализуется увеличение значения  $q_{i,h_1}$  гена в  $h_{i1}$ -ой позиции в участке хромосомы, соответствующем  $i$ -ому типу данных, и уменьшение значения  $q_{i,h_2}$  гена в  $h_{i2}$ -ой позиции в участке хромосомы, соответствующем этому же типу данных. Оба значения  $q_{i,h_1}$  и  $q_{i,h_2}$  изменяются на 2 единицы. Тогда условиями реализации оператора мутации для определяемых случайным образом позиций  $h_{i1}$  и  $h_{i2}$  генов со значениями  $q_{i,h_1}$  и  $q_{i,h_2}$  (соответственно) являются:

1) значение  $q_{i,h_1}$  в позиции  $h_{i1}$  такое, что

$q_{i,h_2} \geq n^i - 3$  (т.к. измененное количество данных в партии не может равным  $n^i - 1$  и  $n^i$ );

2) значение  $q_{i,h_2}$  в позиции  $h_{i2}$  такое, что  $q_{i,h_2} \neq 0$  и  $q_{i,h_2} \neq 1$  (т.к. количество данных в партии не может быть отрицательным),  $q_{i,h_2} \neq 3$  (т.к. количество данных в партии не может быть равно 1).

В случае не выполнения какого-либо из условий реализуется повторная генерация значений  $h_{i1}$  и (или)  $h_{i2}$ .

Рассмотренный метод определения составов партий данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1,n}$ ), реализующий формирование решений в окрестностях разных видов и функционирующий на первом уровне системы, взаимодействует с методом формирования порядков обработки партий на сегментах конвейера (расписаний обработки партий). Введенное ранее предположение об одинаковом порядке обработки партий данных на всех сегментах конвейера позволяет упростить процедуру построения расписаний обработки партий (формируются одинаковые виды последовательностей  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) обработки данных на сегментах конвейера). Т.к. количество типов данных ограничено, партия может содержать не менее двух данных каждого типа, порядки обработки данных на сегментах конвейера являются одинаковыми, тогда является ограниченным количество решений по расписаниям обработки партий. Для формирования расписаний обработки партий данных в системе использован метод поиска лучшего решения в рамках

окрестностей текущего локального оптимального решения (расписания обработки).

Для обоснования алгоритма определения эффективного расписания обработки партий данных в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) в рассмотрение введены следующие обозначения:  $s$ -индекс шага алгоритма, на котором зафиксировано текущее локально оптимальное решение по порядку обработки партий;  $m(s)$  – количество партий данных, размещенных в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) на предшествующих и текущем  $s$ -ом шагах алгоритма;  $M^P$  – вектор, элемент  $m_i^P$  которого – это количество партий данных  $i$ -го типа, размещенных в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) на предыдущих и текущем  $s$ -ом шагах алгоритма;  $g$  – количество выполненных шагов по изменению локально оптимального решения  $[P(s), R(s)]$  для получения решения  $[P(s+g), R(s+g)]$ , соответствующего новому порядку партий в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ );  $w_l$  – метрика окрестности, используемая для идентификации отличия сформированного решения  $[P(s+g), R(s+g)]$  от решения  $[P(s), R(s)]$ ;  $w_l^{max}$  – максимально возможная метрика окрестности решения  $[P(s), R(s)]$ , в которой выполняется поиск более эффективного решения;  $O_{w_l}$  – окрестность решения  $[P(s), R(s)]$ ;  $h_i$  – индекс элемента  $i$ -ой строки матрицы  $A$ , соответствующей составам партий данных  $i$ -го типа, который содержит количество данных в партии, добавляемой в последовательности  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ),  $v$  – индекс текущего рассматриваемого столбца матриц  $P$  и  $R$ , в  $i$ -ой строке которого значения элементов  $p_{i,v}$  и  $r_{i,v}$  соответствуют характеристикам рассматриваемой партии данных  $i$ -го типа, для которой определяется эффективное местоположение ( $p_{i,v} = 1, r_{i,v} = a_{i,h_i}$ );  $v^{max}$  – индекс столбца матриц  $P(s)$  и  $R(s)$ , в котором первоначально размещаются характеристики рассматриваемой партии данных  $i$ -го типа при добавлении этой партии в последовательности  $\pi^l$  ( $p_{i,v^{max}} = 1, r_{i,v^{max}} = a_{i,h_i}$ ).

Вектор  $M^P$  используется при определении количества  $m(s)$  партий данных различных типов, размещенных в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ). Инициализация элементов  $m_i^P$  ( $i = \overline{1, n}$ ) имеет вид:  $m_i^P = 0$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Значение количества партий  $m(s)$ , размещенных в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ), определяется выражением:  $m(s) = \sum_{i=1}^n m_i^P$ .

Расчет метрики  $w_l$  окрестности решения  $[P(s), R(s)]$ :

$$w_l(s+g) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(s)} |p_{i,j}(s+g) - p_{i,j}(s)| / 2,$$

где  $n$  – количество типов данных, партии которых добавляются в последовательности  $\pi^l$ ; Начальное решение  $[P(s), R(s)]$  по определению позиции партии данных  $i$ -го типа в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) формируется путём добавления  $h_i$ -ой партии данных  $i$ -го типа в количестве  $a_{i,h_i}$  ( $h_i = \overline{1, m_i}$ ) в конец этих последовательностей. Через  $g$  обозначен номер промежуточного решения  $[P(s+g), R(s+g)]$ , которое формируется на основе исходного  $[P(s), R(s)]$ . Формирование решения  $[P(s+g), R(s+g)]$  предполагает изменение положения партии в  $\pi^l$  относительно ее положения в решении  $[P(s), R(s)]$ .

Алгоритм построения эффективного расписания обработки партий предполагает последовательное размещение в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) всех партии данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ) и идентификацию эффективного местоположения каждой из этих партий в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ). Т.е. алгоритм реализует жадный подход к оптимизации, при котором каждое последующее эффективное решение по размещению одной из партий в последовательностях  $\pi^l$  формируется на основе эффективных решений по порядку обработки партий, рассмотренных на предыдущих шагах алгоритма. Алгоритм построения эффективного расписания обработки партий рассмотрен с точки зрения размещения в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) партий данных некоторого  $i$ -го типа в количестве  $m_i$  и определения эффективных позиций этих партий в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ). Алгоритм определения эффективных позиций партий данных некоторого  $i$ -го типа в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) имеет следующий порядок шагов:

1) сформированное на предыдущем ( $s-1$ -ом шаге алгоритма) решение определяется соответствующим видом матриц  $P(s-1)$  и  $R(s-1)$ , номер партии  $h_i$

(номер элемента вектора  $A$  ( $h_i = \overline{1, m_i}$ )), данные которой в количестве  $a_{i,h_i}$  размещаются в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ), инициализируется значением 1 ( $h_i = 1$ );

2) т.к.  $m(s-1) = \sum_{i=1}^n m_i^P(s-1)$  – количество партий,

добавленных в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) до  $s$ -го шага алгоритма, тогда для партии данных  $i$ -го типа определяется столбец  $v^{max}$  матриц  $P(s), R(s)$ , в котором будут размещаться соответствующие параметры рассматриваемой партии:  $v^{max} = [m(s-1) + 1]$ ;

3) добавляемая в последовательности  $\pi^l$  партия данных  $i$ -го типа в количестве  $a_{i,h_i}$  элементов размещается в конце последовательностей  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ); для этого в  $i$ -ой

строке  $v^{max}$ -го столбца матриц  $P(s)$  и  $R(s)$  задаются значения, соответствующие этой партии:  $p_{i,v^{max}} = 1$ ;  $r_{i,v^{max}} = a_{i,h_i}$ ;  $p_{k,v^{max}} = 0$ ,  $r_{k,v^{max}} = 0$  при  $k = \overline{1,n}$  и  $k \neq i$ ; сформированное решение фиксируется как локально оптимальное решение:  $[P,R]^* = [P(s),R(s)]$ ;

4) значение  $g$  индекса шага формирования текущего промежуточного решения инициализируется значением 1; индексу текущего рассматриваемого столбца  $v$  матриц  $P(s)$  и  $R(s)$  присваивается значение  $v^{max}$  ( $v = v^{max}$ );

5) на основе матриц  $P(s)$  и  $R(s)$  реализуется вычисление матриц  $(t_{jq}^{ol}(s))$  ( $l = \overline{1,L}$ );

6) для полученного вида матриц  $P(s), R(s)$  и матриц  $(t_{jq}^{ol}(s))$  ( $l = \overline{1,L}$ ) определяется значение критерия  $f_3(s)$  и значения элементов матриц  $(t_{ji}^{nl}(s))$  ( $l = \overline{1,L}$ );

7) в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) изменяется порядок партий таким образом, что рассматриваемая партия данных  $i$ -го типа перемещается на одну позицию в начало  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ); действия имеют вид:

$$p_{i,v-l}(s+g) = 1, p_{i,v}(s+g) = 0, p_{k,v-l}(s+g) = 0,$$

$$p_{k,v}(s+g) = 1, r_{i,v-l}(s+g) = r_{i,v}(s+(g-1)),$$

$$r_{i,v}(s+g) = 0, r_{k,v}(s+g) = r_{k,v-l}(s+(g-1)),$$

$$r_{k,v-l}(s+g) = 0,$$

где  $k$  – индекс строки в матрицах  $P(s+(g-1))$  и  $R(s+(g-1))$ , в которой элементы  $p_{k,v-l} = 1$  и  $r_{k,v-l} = a_{i,h} \neq 0$  на  $(s+(g-1))$ -ом шаге алгоритма; в результате формируются матрицы  $P(s+g)$ ,  $R(s+g)$ ; индекс  $v$  столбца, идентифицирующий местоположение партии в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ), модифицируется:  $v = v - 1$ ;

8) с использованием матриц  $P(s+g)$ ,  $R(s+g)$  вычисляются матрицы  $(t_{jq}^{ol}(s+g))$  и  $(t_{ji}^{nl}(s+g))$  ( $l = \overline{1,L}$ ), а также значение критерия  $f_3(s+g)$ ;

9) при  $f_3(s) \geq f_3(s+g)$  получено не худшее, чем  $[P,R]^*$  решение, тогда  $[P(s+g),R(s+g)]$  фиксируется как локально эффективное:  $[P,R]^* = [P(s+g),R(s+g)]$ , фиксируется значение критерия  $f_3(s+g)$ ; значение  $s = s+g$ , значение индекса  $g$  шага поиска следующего локального оптимального решения в окрестности текущего  $[P,R]^*$  задаётся равным 1, выполняется переход к шагу 7;

10) если  $f_3(s) < f_3(s+g)$ , тогда проверяется выполнение условия  $w_l(s+g) < w_l^{max}$ ; при выполнении условия  $w_l(s+g) < w_l^{max}$  реализуется дальнейший

поиск более эффективного решения в окрестности  $w_l^{max}$  решения  $[P(s),R(s)]$ , модифицируются: индекс  $g$  ( $g = g+1$ ), значение метрики окрестности  $w_l = w_l + 1$ ; проверяется выполнение условия  $v \neq l$  (рассматриваемая партия является первой в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) ( $p_{i,l} = 1$ ,  $r_{i,l} = a_{i,h_i}$ )); при истинности условия  $v \neq l$  выполняется переход к шагу 7, при выполнении условия  $v = l$  выполняется переход к шагу 12;

11) при выполнении условия  $w_l(s+g) = w_l^{max}$  реализуется переход к шагу 13;

12) полученное локально эффективное решение  $[P,R]^*$  фиксируется, изменение положения рассматриваемой партии данных  $i$ -го типа в количестве  $a_{i,h_i}$  в дальнейшем не реализуется;

13) выполняется модификация счетчика количества размещенных в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) партий данных  $i$ -го типа  $m_i^p$ :  $m_i^p = m_i^p + 1$ ; если  $m_i^p < m_i$ , тогда реализуется изменение индекса рассматриваемой партии:  $h_i = h_i + 1$ ; изменение значения шага алгоритма:  $s = s+1$ ; изменение номера столбца матриц  $P, R$ , в котором на следующем шаге размещаются значения параметров, характеризующих добавляемую в  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) партию данных:  $v^{max} = v^{max} + 1$ ; выполнить переход к шагу 3;

14) при условии  $m_i^p = m_i$  в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) размещены все партии данных рассматриваемого  $i$ -го типа, останов алгоритма.

Т.к. шаги 1-14 приведенного алгоритма предусматривают размещение в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ) данных только одного типа, тогда рассмотренный алгоритм должен быть реализован для всех  $i$ -ых типов данных ( $i = \overline{1,n}$ ).

Алгоритм формирования порядка обработки партий позволяет выполнить упорядочивание партий данных всех  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1,n}$ ) в количестве  $m_i$  (в каждой из которых  $a_{i,h_i}$  данных ( $h_i = \overline{1,m_i}$  при  $i = \overline{1,n}$ )) в последовательностях  $\pi^l$  ( $l = \overline{1,L}$ ), т.е. определить расписание обработки партий на сегментах конвейера. Реализация алгоритма обработки партий данных должна быть выполнена совместно с реализацией алгоритма формирования составов партий данных и алгоритма определения групп партий, соответствующих их сформированным составам партий.

Приведенный алгоритм формирования составов партий данных реализован программно. Разработанная в соответствии с этим алгоритмом программа функционирует на втором (нижнем) уровне иерархии системы принятия решений по составам партий данных, реализует построение расписаний, соответствующих решению по

составам партий, сформированных на верхнем уровне системы принятия решений и переданных на нижний уровень. Построенное в соответствии с этим алгоритмом эффективное расписание, сформированное для полученного с верхнего уровня системы решения по составам партий, передается на верхний уровень для оценки эффективности формируемых там решений.

Основной компонентой разрабатываемой иерархической системы построения комплексных расписаний обработки партий является подсистема формирования составов партий, функционирующая на верхнем уровне. В основу функционирования данной системы положен сформулированный в работе метод определения локально эффективных составов партий данных. Поэтому основная цель исследования эффективности функционирования системы заключается в определении эффективности именно этого разработанного метода.

Для анализа эффективности метода определения локально оптимальных составов партий данных, рассмотренного в работе, в рассмотрение введены следующие обозначения параметров задачи:  $\min(t_i^l)$  – минимальная длительность обработки данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ) на  $l$ -ых сегментах конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ),  $\max(t_i^l)$  – максимальная длительность обработки данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ) на  $l$ -ых сегментах конвейера ( $l = \overline{1, L}$ );  $\min(t_i^l) / \max(t_i^l)$  – отношение минимальной длительности обработки данных  $i$ -ых типов ( $i = \overline{1, n}$ ) на всех  $l$ -ых сегментах конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ) к максимальной длительности обработки данных этих типов, определяющее неоднородность длительностей обработки партий данных на сегментах конвейера (этот введенный в рассмотрение параметр является основной характеристикой, определяющей степень неоднородности длительностей обработки данных разных типов на сегментах конвейера);  $\min(t_{ij}^l)$  – минимальная длительность переналадки  $l$ -ых сегментов конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ) с обработки данных  $i$ -ых типов на обработку данных  $j$ -ых типов ( $i \neq j$ ),  $\max(t_{ij}^l)$  – максимальная длительность переналадки  $l$ -ых сегментов конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ) с обработки данных  $i$ -ых типов на обработку данных  $j$ -ых типов ( $i \neq j$ ),  $\max(t_{ij}^l) / \min(t_{ij}^l)$  – отношение минимальной длительности переналадки сегментов конвейера ( $l = \overline{1, L}$ ) к максимальной длительности переналадки этих сегментов. Также при исследовании эффективности метода формирования составов партий данных используются стандартные обозначения для количества типов данных  $n$ , для количества обрабатываемых данных каждого типа  $n^i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), для количества сегментов конвейера  $L$  ( $l = \overline{1, L}$ ). При исследовании параметр  $n$  принимал значения 5 и 10 (понятно, что при увеличении значений этого параметра тенденция изменения эффективности метода определения составов партий будет сохраняться), параметр  $n^i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) принимал

значения 8, 12, 16 (т.е. при фиксируемом значении параметра  $n$  для параметра  $n^i$  задавалось одно из рассматриваемых значений, одинаковое для всех типов данных). Значения параметра  $L$  задавались равными 5, 10.

При исследованиях значения отношения  $\max(t_{ij}^l) / \min(t_{ij}^l)$  задавались равными: 1, 2, 4, 8, 16.

Аналогичным образом значения отношения параметров вида  $\max(t_i^l) / \min(t_i^l)$  задавались равными 1, 2, 4, 8, 16.

В качестве выходного параметра (выходной характеристики) полученного локально оптимального решения по составам партий данных фиксировалось значение момента времени окончания обработки партий, соответствующее локально оптимальному решению. При исследовании эффективности метода построения решений по составам партий данных для некоторого рассматриваемого набора исходных входных характеристик определялись решения по обработке:

1) фиксированных партий (решения по составам партий не формировались, весь набор данных определенного типа в количестве  $n^i$  интерпретировался как одна фиксированная партия); для решений по фиксированным партиям данных определялись моменты времени окончания их обработки;

2) не фиксированных партий (формировались эффективные по составам партий данных и соответствующие им расписания); для этих эффективных решений по составам партий данных определялись моменты времени окончания их обработки.

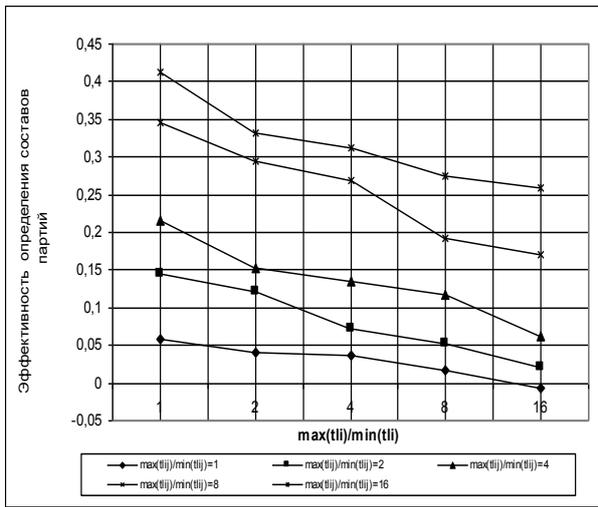
В качестве параметра эффективности полученных эффективных решений определялось отношение разности значений моментов времени окончания обработки фиксированных партий и партий, сформированных в соответствии с предложенным методом, к моменту времени окончания обработки фиксированных партий (т.е. на сколько будет снижена длительность обработки фиксированных партий за счет использования рассмотренного метода формирования составов партий по отношению к общему времени обработки этих фиксированных партий, или, что то же самое, какую долю от общего времени обработки фиксированных партий составляет снижение времени обработки этих партий за счет использования рассматриваемого метода). Зависимости эффективности рассматриваемого метода от введенных в рассмотрение входных параметров представлены на рис.2-4.

На основе полученных оценок эффективности определения решений по составам партий данных определены следующие особенности процесса оптимизации:

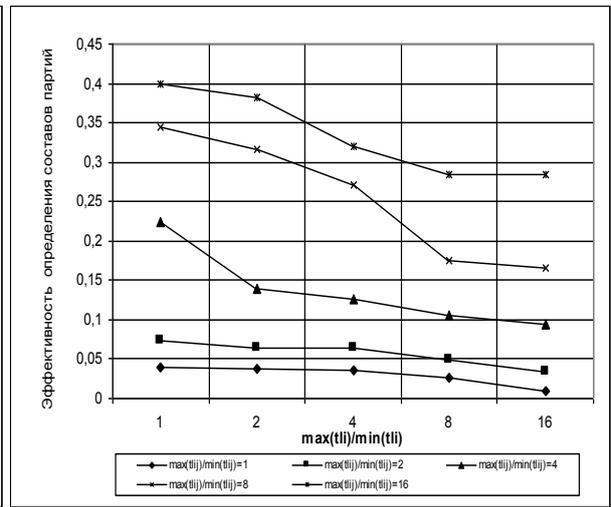
- при одинаковых значениях  $n$  и  $n^i$  увеличение количества приборов  $L$  обуславливает снижение эффективности процесса определения составов партий данных;

- увеличение значения  $n^i$  (от 8 до 16) при прочих неизменных значениях входных параметров обуславливает увеличение эффективности решений по составам партий;

- увеличение значений отношения  $\max(t_{ij}^l) / \min(t_{ij}^l)$  (увеличение неоднородностей



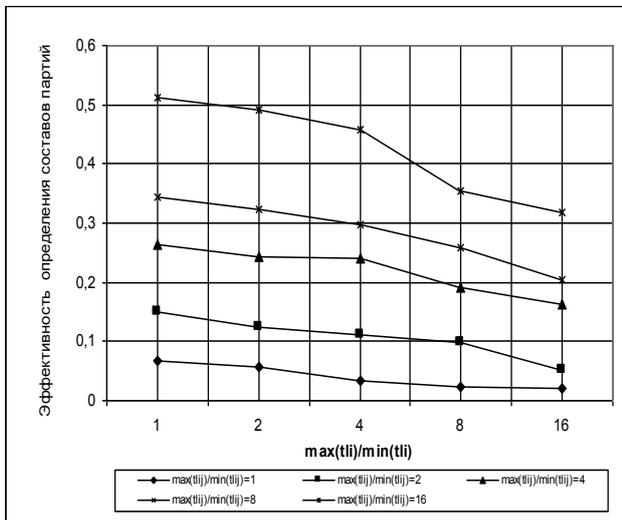
а)



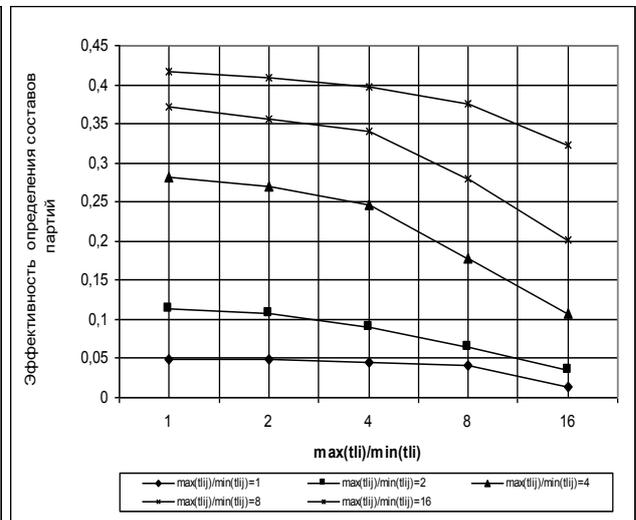
б)

Рис.2. Эффективность метода формирования составов партий при  $n^i = 8$ :

а)  $n=10, L=5$ ; б)  $n=10, L=10$



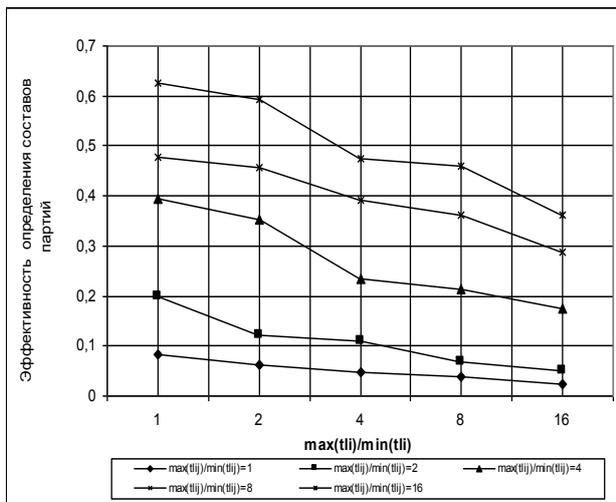
а)



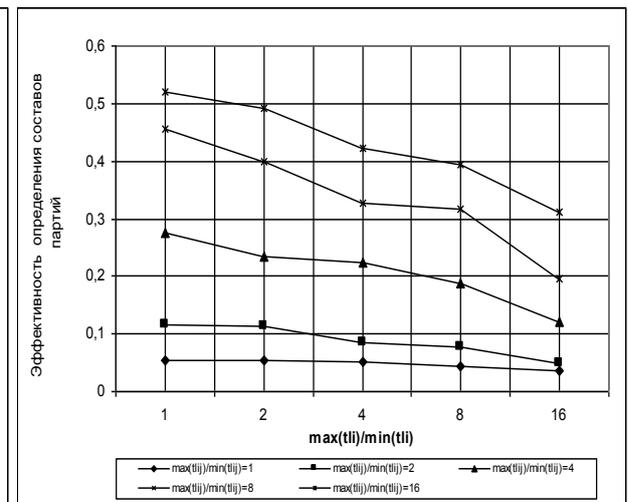
б)

Рис.3. Эффективность метода формирования составов партий при  $n^i = 12$ :

а)  $n=10, L=5$ ; б)  $n=10, L=10$



а)



б)

Рис.4. Эффективность метода формирования составов партий при  $n^i = 16$ :

а)  $n=10, L=5$ ; б)  $n=10, L=10$

длительностей переналадки сегментов конвейера) обуславливает увеличение эффективности решений по составам партий данных (при прочих неизменных значениях входных параметров), т.е. большее различие в длительностях переналадок приборов обуславливает большую эффективность формирования партий данных ;

– увеличение значений отношения  $\max(t_i^l) / \min(t_i^l)$  (увеличение неоднородностей длительностей обработки данных на сегментах конвейера) обуславливает снижение эффективности решений по составам партий данных (при прочих неизменных значениях входных параметров).

В целом (при различных значениях входных параметров) эффективность формирования решений по составам партий изменяется в диапазоне от 1% до 65%. Выполненная программная реализация и последующее исследование эффективности рассматриваемого метода определения составов партий данных и расписаний их обработки доказали работоспособность иерархического подхода к формированию локально оптимальных решений по составам партий и расписаниям их обработки.

#### Заключение

Результатами выполненных исследований являются: сформированная двухуровневая модель построения комплексных расписаний обработки партий данных; сформулированный способ определения составов партий с использованием аппарата генетических алгоритмов; сформулированный алгоритм определения расписаний обработки данных, использующий «жадный» подход. Использование разработанных методов позволяет

определить: 1) эффективные составы партий (количество партий, число данных в них); 2) эффективные порядки обработки партий на сегментах конвейера. Дальнейшие исследования направлены на разработку методов построения комплексных расписаний обработки партий данных при наличии ограничений на длительности интервалов функционирования системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хьюз К. Параллельное и распределенное программирование на C++./ К. Хьюз, Т.Хьюз, М.: Изд-во «Вильямс», 2004.– 672 с.
2. Кротов К.В. Многоуровневая модель построения расписаний обработки партий данных в конвейерных системах при формировании комплектов и наличии ограничений./ К.В.Кротов// СПб.: Труды СПИИРАН, 2016, Вып. 4(47). – С. 65-91;
3. Lawler E. L. Sequencing and scheduling: Algorithms and complexity. / E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan, D. B. Shmoys.// Eindhoven University of Technology, Department of Mathematics and Computing Science.– Eindhoven, Holland, 1989 у.– 72 pp.
4. Петросян Л.А. Теория игр./ Л.А.Петросян, Н.А.Зенкевич, Е.А.Семина. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1999. – 300с.
5. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами / Ю.Б.Гермейер. – М.: Наука, 1976. – 327 с.
6. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы./ Л.А.Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик.– М.: Из-во Физматлит, 2006.– 320 с.

## USING OF THE APPARATUS OF GENETIC ALGORITHMS IN THE FORMATION OF DECISIONS ON THE COMPOSITION OF BATCHES OF DATA IN THE TWO-LEVEL TASK OF CONSTRUCTING COMPLEX SCHEDULES FOR THEIR PROCESSING

K.V.Krotov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

**Abstract.** The task of determining the composition of batches of data and constructing schedules for their processing in conveyor systems is considered in the work. Mathematical model of the process of processing batches in the conveyor system, on the basis of which the form of the criteria for the effectiveness of decisions on the composition of batches and the schedules for their processing at the levels of the hierarchical system is justified and introduced into consideration for solving the problem. An approach based on genetic algorithms is used to determine effective decisions on the composition of batches of data. The scheduling of batches is done using an approach based on "greedy" strategies.

**Keywords:** hierarchical game, batch of data, batch processing schedules, genetic algorithms.

#### REFERENCES

1. Hughes K. Hughes T. *Parallel'noe i raspredelennoe programmirovaniye na C++* [Parallel and Distributed Programming Using C ++], Moscow, Publishing House of the "Williams", 2004, 672 p.
2. Krotov K.V. *Mnogourovnevaya model' postroeniya raspisaniy obrabotki partiy dannykh v konveyernykh sistemakh pri formirovaniy komplektov i nalichii ogranicheniy* [Multilevel model of construction of the processing schedules batch data in conveyor systems in the formation of sets and availability restrictions], SPb.: Proceedings of SPIIRAS, 2016, # 4(47). – P. 65-91;
3. Lawler E. L. Sequencing and scheduling: Algorithms and complexity. / E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan, D. B. Shmoys.// Eindhoven University of Technology, Department of Mathematics and Computing Science.– Eindhoven, Holland, 1989 у.– 72 pp.
4. Petrosyan L.A., Zenkevich N.A., Semina E.A. *Teoriya igr* [Theory of games], Moscow, Publishing House of the "High School", 1999, 300 p.
5. Germeier Y.B. *Igry s neprotivopolozhnyimi interesami*. [Game with nonconflicting interests], Moscow, Nauka, 1976 - 327 p.
6. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. *Geneticheskie algoritmy*. [Genetic algorithms], Moscow, Fizmatlit, 2006.– 320 p.

## АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВХОДНЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПИД РЕГУЛЯТОР

М.И. Васильев<sup>1</sup>, Д.Л. Власов<sup>2</sup>, И.И. Васильев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ООО «Газпром добыча Уренгой», г. Новый Уренгой, Россия

<sup>1</sup>Misha462@yandex.ru

**Аннотация.** Представлены структурные схемы и результаты математического моделирования (переходные процессы) системы управления инерционным с запаздыванием объекта при типовых регулирующих воздействиях на входе ПИД-регулятора: ступенчатом (резкое изменение (скачком) входного воздействия), линейном (изменение входного воздействия с постоянной скоростью) и квадратичном (изменение входного воздействия с постоянным ускорением). Определены основные показатели качества системы управления. Показаны преимущества системы ПИД-регулятора с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия (быстродействие). Определены оптимальные значения скорости интегрирующего звена входного воздействия.

**Ключевые слова:** ПИД-регулятор, типовые регулирующие воздействия, линейное регулирующее воздействие, переходный процесс, качество регулирования.

### Актуальность работы

Точность систем управления является важнейшим показателем их качества. Чем выше точность, тем выше качество системы. Однако предъявление повышенных требований к точности вызывает неоправданное удорожание системы [1], усложняет ее конструкцию. Недостаточная точность может привести к несоответствию характеристик системы условиям функционирования и необходимости ее повторной разработки. Поэтому расчет и анализ переходных процессов является одним из важнейших этапов проектирования системы управления. Данный расчет позволяет получить достаточно информации для оценки его работоспособности в переходном режиме.

### Основные проблемы и решения

Переходный процесс заключается в переходе от одного установившегося (стационарного, равновесного) состояния системы к другому установившемуся ее состоянию. Очевидно, если бы объект управления не обладал инерцией того или иного рода – тепловой, механической, электромагнитной, – то переходы от одного установившегося состояния к новому переходили бы мгновенно, т.е. переходный процесс как таковой не имел бы места. Характер протекания и продолжительность переходного процесса определяются как его видом, так и особенностями собственно объекта управления, а именно: количеством и природой содержащихся в нем инерционностей. Последние количественно определяются постоянными времени объекта управления [2].

Устойчивость системы автоматического регулирования является необходимым, но далеко не достаточным условием ее практической пригодности. Понятие устойчивости отражает наличие или отсутствие затухания переходного процесса в системе. Однако характер затухания переходного процесса может быть самым разнообразным. Кроме того, регулируемый параметр может иметь различные отклонения от заданного

значения в установившемся режиме. Следовательно, необходимо оценить качество процессов, протекающих в системе автоматического регулирования.

Целью данной работы является математический расчет и сравнение основных показателей качества системы управления инерционным с запаздыванием объекта при типовых регулирующих воздействиях на входе ПИД-регулятора: ступенчатом (резкое изменение (скачком) входного воздействия), линейном (изменение входного воздействия с постоянной скоростью) и квадратичном (изменение входного воздействия с постоянным ускорением).

Под качеством регулирования понимают свойство системы автоматического регулирования поддерживать с достаточными точностью и быстродействием заданный закон изменения регулируемого параметра. Требования к качеству регулирования в частном случае могут быть самыми разнообразными. Однако из всех показателей качества можно выделить несколько наиболее существенных, которые в достаточной мере характеризуют работу большинства систем автоматического регулирования. Существуют несколько основных показателей, характеризующих качество регулирования: длительность переходного процесса, перерегулирование и статическая ошибка [3].

Длительность переходного процесса ( $T_p$ ) – интервал времени с момента подачи входного сигнала до момента окончания переходного процесса. Обычно считают переходный процесс законченным, если регулируемый параметр отличается от заданного не более чем на 5 %. Время переходного процесса характеризует быстродействие системы и зависит от ее динамических свойств и числа входящих в ее состав звеньев. С увеличением числа звеньев быстродействие обычно уменьшается.

Перерегулирование (%) представляет собой отношение разности максимального отклонения регулируемого параметра и установившегося значения к установившемуся значению.

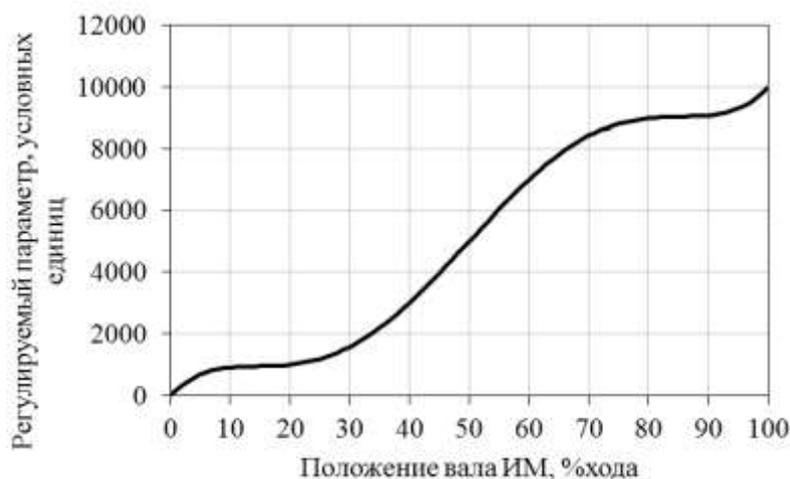


Рис. 1. Статическая характеристика условного объекта управления

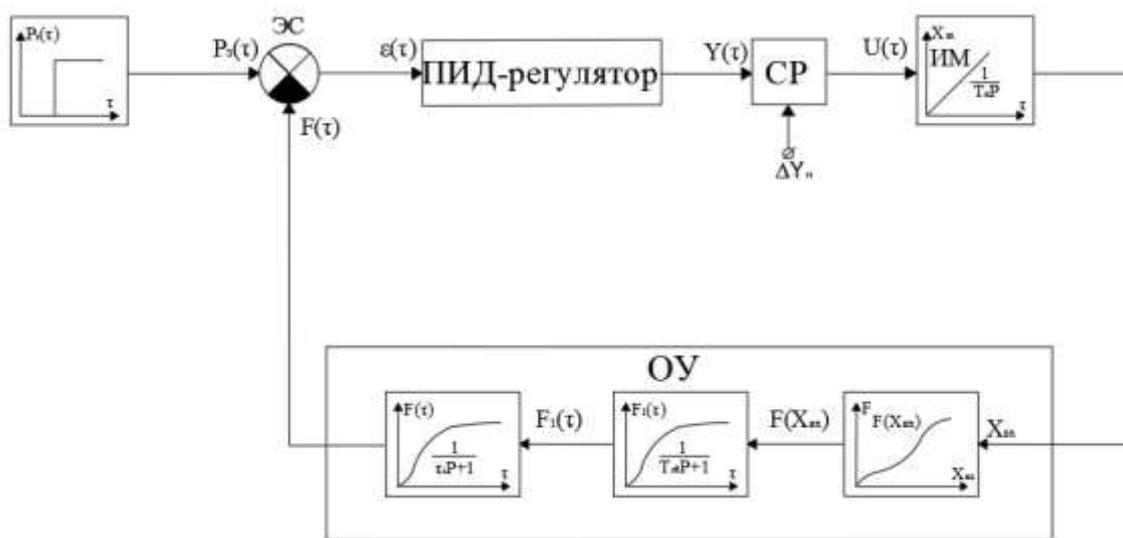


Рис. 2. Структурная схема ПИД-регулятора с звеном ступенчатого воздействия

Статическая ошибка (%) представляет собой отношение разности между заданным и установившимся (фактическим) значениями регулируемого параметра к установившемуся значению.

Статическая характеристика условного объекта управления представлена на рис. 1.

Для моделирования объекта управления методом аппроксимации статической характеристики [4] получаем уравнение функционального звена (1):

$$y = 0,00002604 \cdot x^5 - 0,00651042 \cdot x^4 + 0,54166667 \cdot x^3 - 16,14583333 \cdot x^2 + 204,16666663 \cdot x - 0,0000000037$$

Инерционные с запаздыванием свойства объекта управления ( $T_{об} = 1$  с,  $\tau_3 = 0,25$  с) математически смоделированы при использовании численного метода Эйлера.

Таким образом, инерционный с запаздыванием объект управления представим в виде последовательного соединения трёх звеньев: функционального и двух инерционных.

Перед проведением опытов с применением различных входных регулирующих воздействий ПИД-

регулятор был настроен ( $K_p = 0,003548616$ ,  $T_i = 1$ ,  $T_n = 0,25$ ).

Ступенчатое воздействие является самым простейшим и как следствие самым распространённым. Структурная схема ПИД-регулятора с звеном ступенчатого воздействия представлена на рис. 2.

Результаты математического моделирования (переходный процесс) системы с ПИД-регулятором с звеном ступенчатого воздействия представлен на рис. 3. Из графика видно, что время регулирования составило 12,3 с, при этом перерегулирование и статическая ошибка равны нулю.

Структурная схема ПИД-регулятора с звеном квадратичного воздействия представлена на рис. 4.

Результаты математического моделирования (переходный процесс) системы с ПИД-регулятором с звеном квадратичного воздействия представлен на рис. 5. Из графика видно, что время регулирования составило 11,8 с, при этом перерегулирование и статическая ошибка равны нулю.

Структурная схема ПИД-регулятора с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия представлена на рис. 6.

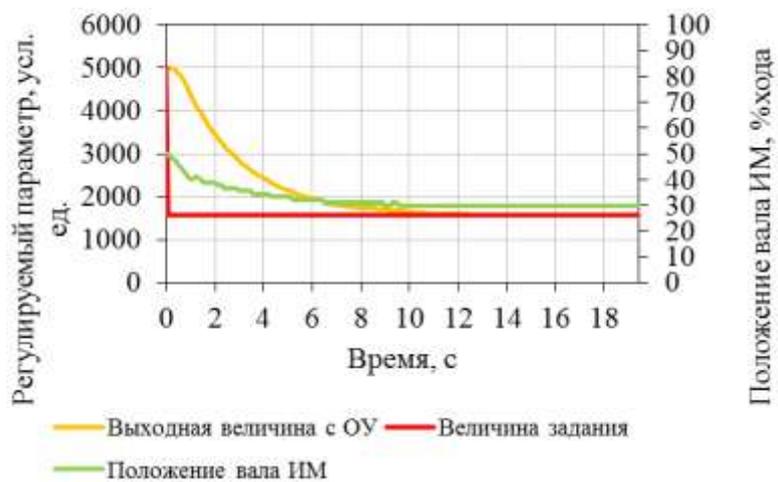


Рис. 3. Переходный процесс системы с ПИД-регулятором с звеном ступенчатого воздействия

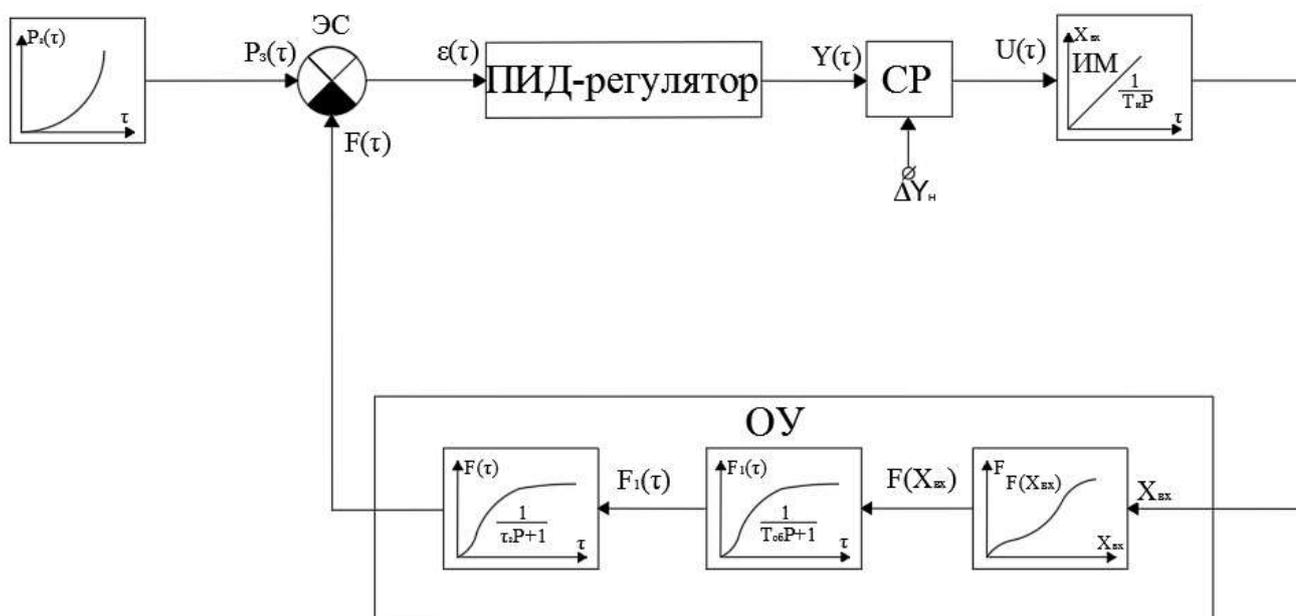


Рис. 4. Структурная схема ПИД-регулятора с звеном квадратичного воздействия

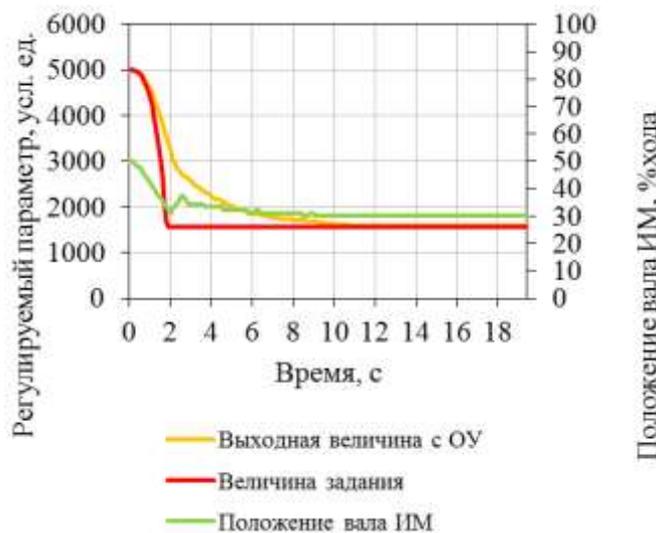
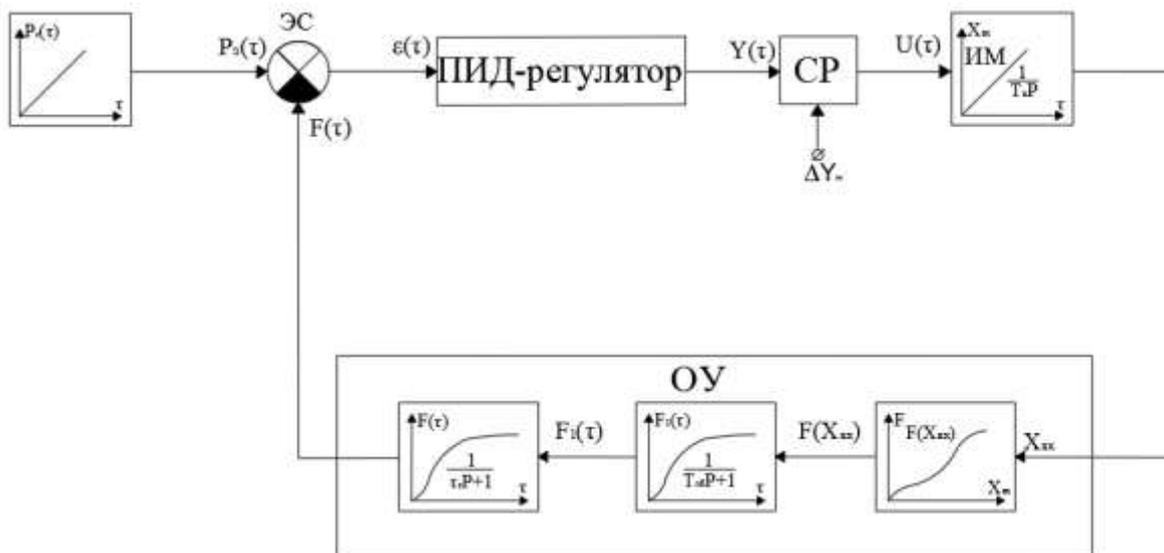
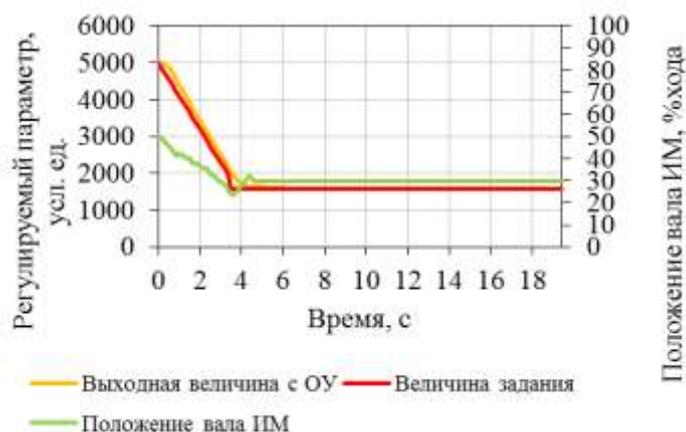


Рис. 5. Переходный процесс системы с ПИД-регулятором с звеном квадратичного воздействия



**Рис. 6. Структурная схема ПИД-регулятора с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия**



**Рис.7. Переходный процесс системы с ПИД-регулятором с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия**

Результаты математического моделирования (переходный процесс) системы с ПИД-регулятором с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия с скоростью изменения воздействия равной 900 условных единиц в секунду представлен на рис. 7. Из графика видно, что время регулирования составило 7,1 с, при этом перерегулирование и статическая ошибка равны нулю.

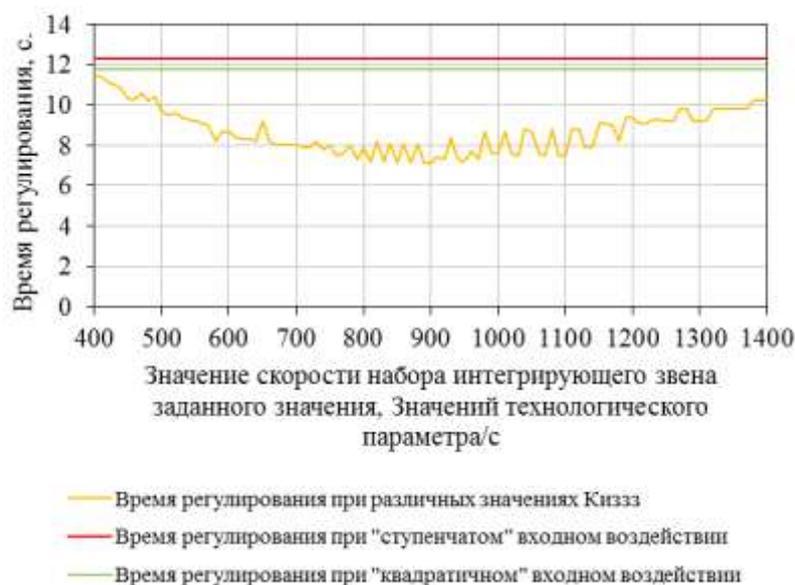
В ходе эксперимента были опробованы все значения скорости набора интегрирующего звена заданного значения с шагом в 10 значений технологического параметра/с в диапазоне от 400 до 1400 значений технологического параметра/с. В результате был получен график зависимости времени регулирования от значения скорости набора интегрирующего звена заданного значения, который представлен на рис. 8.

На основании данных графика (рис. 8) можно сделать вывод, что система с ПИД-регулятором с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия самая быстродействующая, а также, что имеется некое оптимальное значение скорости интегрирующего звена входного воздействия. Данное оптимальное значение

приближено, а точнее имеет значение чуть большее значения максимально возможной скорости изменения регулируемого параметра объекта управления.

### Заключение

В результате математических расчетов и сравнения основных показателей качества системы управления инерционным с запаздыванием объекта при типовых регулирующих воздействиях на входе ПИД-регулятора: ступенчатом, линейном и квадратичном, было выявлено, что самой быстродействующей является система ПИД-регулятора с интегрирующим звеном (линейном) входного воздействия.



**Рис. 8. Графики времени регулирования при различных входных воздействиях и при различных значениях скорости набора интегрирующего звена заданного значения для линейного воздействия**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В.А. Радиоавтоматика: Учеб. пособие для студ. вузов спец. «Радиотехника»/В.А. Бесекерский, А.А. Елисеев, А.В. Небылов и др.; Под ред. В.А. Бесекерского – М.: Высш. шк., 1985 – 271 с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. Профессия, 2003 – 182 с.
3. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления, ч. 3, М. – Л., 1970
4. Андреев С.М. Разработка и моделирование несложных систем автоматизации с учетом специфики технологических процессов: Учеб. пособие для студ. среднего профессионального образования по спец. «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)»/С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин; Издательство: Издательский центр "Академия" – М.: 2016 – 272 с.

#### ANALYSIS AND COMPARISON OF THE INPUT REGULATORY INFLUENCES ON PID CONTROLLER

M.I. Vasilyev<sup>1</sup>, D.L. Vlasov<sup>2</sup>, I.I. Vasilyev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>LLC «Gazprom добыча Urengoy», New Urengoy, Russia

**Abstract.** Shows the block diagram and the simulation results (transient) control systems inertial lag of the object with the model of regulatory influences at the input of the PID controller: step (abrupt change (jump) of the input), linear (the change input with a constant velocity) and quadratic (change in input with a constant acceleration). The basic indexes of the quality management system. Shows the advantages of the system PID controller with integrators (linear) inputs. The optimal speed values an integrative link input.

**Keywords:** PID controller, model regulatory impact, regulatory impact linear, transient process, the quality of regulation.

#### REFERENCES

1. Besekerskiy V.A. Radioautomatics [Radioavtomatika] – Moscow: Vyssh. shk., 1985. – 271 p.
2. Besekerskiy V.A. The theory of automatic control systems [Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya]. – Moscow: Professiya, 2003. – 182 p.
3. Voronov A.A. Fundamentals of the theory of automatic control, vol. 3]. [Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya, vol. 3]. – Moscow: Lenizdat, 1970.
4. Andreev S.M. Development and modeling of simple automation systems taking into account the specifics of technological processes [Razrabotka i modelirovanie neslozhnykh sistem avtomatizatsii s uchetom specifiky tekhnologicheskikh processov]. – Moscow: Izdatel'skiy centr "Akademiya", 2016. – 272 p.

УДК 621.902:621.941.23-52

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
МЕХАНООБРАБОТКИ НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ**

**В.Ц. Зориктуев<sup>1</sup>, Б.Н. Файрушин<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный  
технический университет», г.Уфа, Россия

<sup>1</sup> katzor@mail.ru

<sup>2</sup> bulat.fairushin@rambler.ru

**Аннотация.** Обосновывается системный анализ автоматизированного управления процессом механообработки лопаток газотурбинных двигателей.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы; лопатки компрессора и турбины; человеческий фактор; постпроцессора.

Системный анализ — научный метод познания, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или элементами исследуемой системы. Опирается на комплекс общенаучных, экспериментальных, естественнонаучных, статистических, математических методов. Предметом изучения системного анализа является система, независимо от ее природы, организации, способов существования и способов описания. Целью рассмотрения системного анализа считается решение задач анализа, управления и проектирования.

Изначально лопатки производились на копировальном станке, у которого основным узлом является копировальное устройство. После копировальных применялись 3-х и 4-х координатные станки, на них не получалось идеальная геометрия вследствие чего после обработки на них лопатки доводились вручную с помощью бор фрез и полировки.

После проведения анализа обработки детали на копировальном и 4-х координатном станке можно сделать следующие выводы. При обработке данного изделия на копировальном и 4-х координатном оборудовании не обеспечивается требуемая точность обработки. Конструкторские работы осуществляются традиционным способом — с помощью кульманов, и только некоторые разработчики эпизодически используют различные 2D-системы для подготовки чертежей.

При «бумажном» способе проектирования предприятие не удовлетворяет следующим требованиям:

- сроки разработки проекта и конструкторско – технологической документации;
- низкий уровень анализа разработанной конструкции;
- низкий уровень изучения разработанной технологии.

Опыта же работы с современными 3D-решениями нет. Такой подход при проектировании детали вызывает

трудности при описании ее в САМ – системе. Весь процесс проектирования и описания детали в САМ – системе достаточно трудоемкий, и для его реализации требуется слишком много времени. Для формирования управляющей программы постпроцессоры пишут вручную, что вызывает большое количество ошибок во время выполнения программы. Отладка этих ошибок также вызывает значительные трудности [1].

Таким образом, процесс создания управляющей программы обработки детали типа «лопатка» при «бумажном» способе не удовлетворяет следующим требованиям:

- высокая точность обработки;
- малая трудоемкость;
- наличие САД – системы 3D;
- автоматическая настройка постпроцессора.

**Формулировка проблемы и цели**

В современном авиадвигателестроении важной задачей является управление качеством производства сложнопрофильных деталей, к которым относятся лопатки компрессора и турбины, которые определяют параметры воздушного потока. Главной характеристикой качества таких деталей является точность формирования профиля пера, расположение профиля пера относительно замковой части лопатки и шероховатость поверхности.

Дерево проблем – ключевой график, призванный облегчить процесс формирования задач на предприятии и поиск путей решения, представлен на рис. 1.

Три основные проблемы ручной механической обработки лопатки:

- неточность обработки детали может возникнуть из-за ошибки оператора, либо из-за неправильно сконструированной модели;
- невозможность получения требуемой поверхности с требуемой шероховатостью возникает из следующего

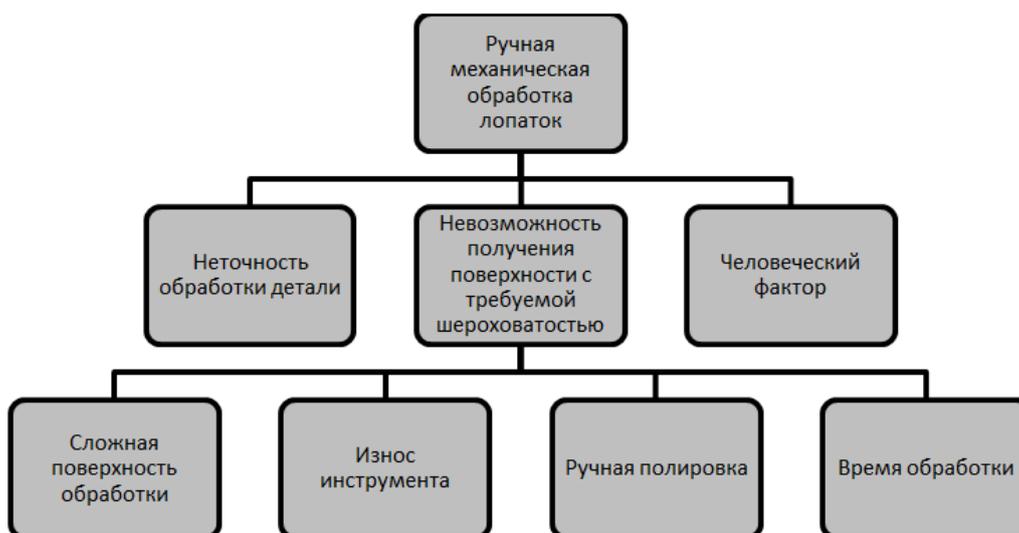


Рис. 1. Дерево проблем



Рис. 2. Дерево целей

ряда проблем:

- сложная поверхность обработки – лопатки могут быть различных форм и размеров вследствие чего рабочему достаточно сложно выполнить обработку детали;
- износ инструмента;
- ручная полировка;
- время обработки.

Человеческий фактор происходит при принятии человеком ошибочных решений в конкретных ситуациях [2].

Дерево целей - это структурированный иерархический перечень целей организации, в котором цели более низкого уровня подчинены и служат для достижения целей более высокого уровня, представлен на рис. 2.

Главной целью является создание управляющей программы.

Создание 3D модели - до создания управляющей программы (УП) необходимо проверить правильность расчета координат обработки по осям X, Y и Z; наличие и правильность записи подготовительных и вспомогательных команд. По сути – излишние необходимые затраты, которые присущи механообработке. Для улучшения

качества поверхности при исходной технологии просто необходим.

Исключение человека из технологического процесса - минимизация или полное исключение ручного труда, позволяет снизить влияние вредных производственных факторов на здоровье персонала - управление производством осуществляется с безопасного рабочего места.

Использование программного продукта UGS 7.5 позволяет практически исключить человеческий фактор оператора, т.к. процесс обработки детали по очередности ТП и траектория движения режущего инструмента закладывается на станок программно [3].

### Заключение

Механообработка является самой подходящей для точной обработки металла. Устранить шероховатость можно и механически, с помощью высокоточного фрезерования на 5-ти координатных станках. Данное решение зачастую и применяется на современных предприятиях.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов: учебник для вузов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник – М.: КолосС, 2007. – 346 с.
  2. Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятия решений. / Учебное пособие. – М: Проспект, 2010. – 176 с.
  3. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования.-М:изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010.-450с.
- 

## SYSTEM ANALYSIS OF AUTOMATED PROCESS CONTROL MACHINING AT THE MACHINING CENTER

V.C. Zoriktuev<sup>1</sup>, B.N. Fairushin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia

**Abstract.** Substantiates the systematic analysis of the automated process control machining of blades of gas turbine engines.

**Keywords:** intelligent Systems; compressor blades and turbine; human factor; postprocessor.

### REFERENCES

1. Borodin I.F. Automation of technological processes [Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov] – Moscow: KolosS, 2007. – 346 p.
2. Kozlov V.N. System analysis, optimization and decision making [Sistemnyj analiz, optimizaciya i prinyatiya reshenij] – Moscow: Prospekt, 2010. – 176 p.
3. Norenkov I.P. Fundamentals of Computer Aided Design [Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya].- Moscow: izd-vo MGTU im. N.EH.Baumana, 2010. - 450p.

