

*Журнал Научное обозрение.
Технические науки
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440*

*Учредитель, издательство и редакция:
НИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес:
105037, г. Москва, а/я 47*

**Founder, publisher and edition:
SPC Academy of Natural History,
post address:
105037, Moscow, p.o. box 47**

*Подписано в печать 12.01.2018
Дата выхода номера 12.02.2018
Формат 60×90 1/8*

*Типография
НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 12.01.2018
Format 60×90 8.1**

**Typography
SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Митронова Л.М.
Корректор Андреев А.М.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2017/3*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)
А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)
Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)
М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)
Н.Е. Старчикова (**N.E. Starchikova**)
Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2017 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ**Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ <i>Бейсембаев К.М., Грузинская Т.Н., Куракбаев Д.К., Оразбеков Д.Е., Шакарим Е.Е.</i>	5
СЕМАНТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОВАРНОГО ПРОДУКТА. ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ <i>Ивлев М.А.</i>	11
СЕМАНТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОВАРНОГО ПРОДУКТА. МОДЕЛЬ ЛАНКАСТЕРА <i>Ивлев М.А.</i>	16
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ WORD2VEC ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БОЛЬШИХ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ <i>Черепков Е.А., Глебов С.А.</i>	21
ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА ПО ИНФОРМАЦИИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ <i>Щитицын А.Г.</i>	25

CONTENTS**Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)**

MODELLING OF ROBOTICS FOR CLEARING FACES <i>Beysembaev K.M., Gruzinskaya T.N., Kurakbaev D.K., Orazbekov D.E., Shakarim E.E.</i>	5
SEMANTIC PRECONDITIONS OF THE FORMALIZED CONTROL OF INDUSTRIAL SYSTEMS AT DESIGNING A COMMODITY PRODUCT. INFORMATION INVARIANCY <i>Ivlev M.A.</i>	11
SEMANTIC PRECONDITIONS OF THE FORMALIZED CONTROL OF INDUSTRIAL SYSTEMS AT DESIGNING A COMMODITY PRODUCT. LANCASTER MODEL <i>Ivlev M.A.</i>	16
USING WORD2VEC MODEL FOR CLUSTERING BIG TEXT DATA <i>Cherepkov E.A., Glebov S.A.</i>	21
PROCEDURE OF DETERMINATION OF INITIAL ORIENTATION OF OBJECT ON INFORMATION OF STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM <i>Shchipitsyn A.G.</i>	25

УДК 681.2-5:007.52

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

Бейсембаев К.М., Грузинская Т.Н., Куракбаев Д.К., Оразбеков Д.Е., Шакарим Е.Е.

*КарГТУ «Карагандинский государственный технический университет», Караганда,
e-mail: kakim08@mail.ru*

Проведен анализ особенностей проектирования и моделирования макетов робототехнических устройств для очистных забоев шахт с применением плат Arduino. Построена инфологическая модель управления роботом. Представлены основные элементы многомерной базы данных сетевого типа и автопроектирования в системе пакетов CAD/CAM/CAE. С целью максимального соответствия конструкции крепи особенностям работы горных роботов выполнен анализ секций крепи и выбран её тип. Схема должна обеспечивать индивидуальное перемещение робота за движением забоя, возможности преодоления разрывных нарушений пласта шагами вверх и вниз, возможности разворота забоя на 180 градусов, установку дополнительного оборудования манипулятором. В пакете Adams выполнено моделирование усовершенствованной конструкции типа М-130. Система многомерной базы с узлами-таблицами с гиперссылками на процессоры пакетов позволяет создавать программы моделирования прогнозирования состояния робота, управления и отбора решений, как в простой нейросети.

Ключевые слова: горный робот, плата, программирование, сетевая, многомерная база

MODELLING OF ROBOTICS FOR CLEARING FACES

Beysenbaev K.M., Gruzinskaya T.N., Kurakbaev D.K., Orazbekov D.E., Shakarim E.E.

KSTU «Karaganda State Technical University», Karaganda, e-mail: kakim08@mail.ru u

The analysis of features of design and modeling of models of robotic devices for clearing faces of mines with application of payments of Arduino is carried out. The datalogical model of control of the robot is constructed. Basic elements of the multidimensional database of network type and autodesign in the system of CAD/CAM/CAE packages are presented. For the purpose of the maximum compliance of a design of a timbering to features of operation of mining robots the analysis of sections of a timbering is made and her type is chosen. The scheme has to provide individual movement of the robot behind the movement of a face, possibility of overcoming explosive violations of layer by steps up and down, possibilities of a turn of a face by 180 degrees, installation of the additional equipment the manipulator. In an Adams package modeling of an advanced design like M-130 is executed. The system of multidimensional base with knots tables with hyperlinks to processors of packages allows to create programs of modeling of forecasting of a condition of the robot, management and selection of decisions, as in a simple neuronet.

Keywords: mining robot, payment, programming, network, multidimensional base

В робототехнике широко применяются информационные технологии: при проектировании, управлении и для систем интеллектуального анализа на основе нейросетей [1–4]. Одним из основных требований для обеспечения эффективного управления является соответствие конструктивной схемы робота общим функциональным показателям работы. Как показывает анализ, из современных конструкций требованиям кинематических схем горных роботов для очистных и проходческих работ отвечает схема механизированной крепи М-130.

Анализ и схемы макетирования

Требования включают независимое перемещение робота в 3D пространстве, необходимые конструктивные особенности для обеспечения движения его основных узлов по заданным и избираемым нейросетью траекториям при выполнении рабочих функций. Эти работы включают передвижение вслед за забоем, вход и выход в забой, крепление кровли, управление или взаимодействие с другими машинами, входящими в очистной

или проходческий комплекс: конвейерами, элементами стационарно-переносной крепи для крепления вспомогательных выработок, буровыми устройствами и т.п. Кроме основных функций по креплению кровли в забое робот имеет ряд вспомогательных функций. Они выполняются с помощью встроенных манипуляторов и специального модульного программного обеспечения (ПО). Секция М-130, рис. 1 имеет независимые гидростолбы, управляемые (подъем, опускание, наклоны влево-вправо, вперед-назад) гидродомкратами. Недостатком М-130 являлось отсутствие системы автоматизированного управления, и поэтому при недостаточно обученном персонале возникали проблемы с устойчивостью секций.

Роботизация включает программное управление её элементами. Для моделирования на макетах в робототехнике часто используется система с ПО Arduino. Для этого существует известная среда программирования «Arduino IDE», под управлением операционных систем Windows, Mac OS и Linux, которая позволяет загружать новые програм-

мы с USB-соединением платы к компьютеру. Возможна работа и через другие IDE или непосредственно через командную строку. Система функционирует на основе языка C++. При проектировании модели и исследовании её параметров применяется пакет САПР Solid Works, где разрабатываются конструктивные элементы горного робота, а для построения управляющих схем – Ramus Educational [2]. Роботы обычно имеют манипулятор, для захвата различных предметов. В данном случае его программу можно упростить, поскольку захват осуществляется для предметов, конфигурацию которых достаточно просто описать объектно-ориентированным кодом [5]. Тогда с учетом конструктивного исполнения секции крепи можно построить инфологическую модель функционирования робота, рис. 2, с элементами многомерных классификаций [2, 6].

Новые технологические схемы и роботы

При разработке месторождений человек наряду с роботами должен присутствовать в недрах. Это так же верно и из предпосылок новых технологий, согласно которым вредные производства, транспортные потоки со временем будут упрятаны в недра, что, например, следует из известных работ Илона Маска, руководителя программы США SpaceX с ракетоносителем Falcon 9. Их предприятия озабочены созданием производственной техники с производительностью выше современных показателей в 5 раз. Это позволяет говорить о новом этапе в горном деле в области подземной разработки, когда она вновь станет лидирующей в отрас-

ли. При этом резко актуализируются и схемы, разработки пластовых месторождений с применением технологии разворота механизированных крепей, обеспечивающих безмонтажную работу техники. Впервые они были испытаны в Кузнецком и Карагандинском бассейнах в конце XX в. Сущность технологии разворота заключалась в том, что, осуществив выемку нужного столба (технология выемки длинными столбами по простиранию пласта), очистной комплекс разворачивался вокруг центра поворота (ЦП) транспортной выработки на 180 градусов по радиусу равному длине лавы. Часть лавы у ЦП перемещалась мало и простаивала, а противоположная должна была описать дугу длиной πL метров. Тогда количество движков, которые совершит любая секция находящаяся на расстоянии lx от центра:

$$N = \pi lx/b,$$

где L – длина лавы;
 b – ширина захвата комбайна.

Давление у сопряжения лавы с транспортной выработкой превышает давление в середине лавы и вызывает разрушение пласта и вывалообразование из кровли. Его изучение показало, что объем выпавшей породы для движущейся лавы зависел от времени выстоя кровли (времени неперекрываемости в этой зоне), которое в свою очередь возрастало от дальнего конца лавы к ЦП и было пропорциональным величине:

$$T = t_1 * L/lx, \quad (*)$$

t_1 – длительность передвигки одной секции с обычным шагом, с учетом простоев лавы.

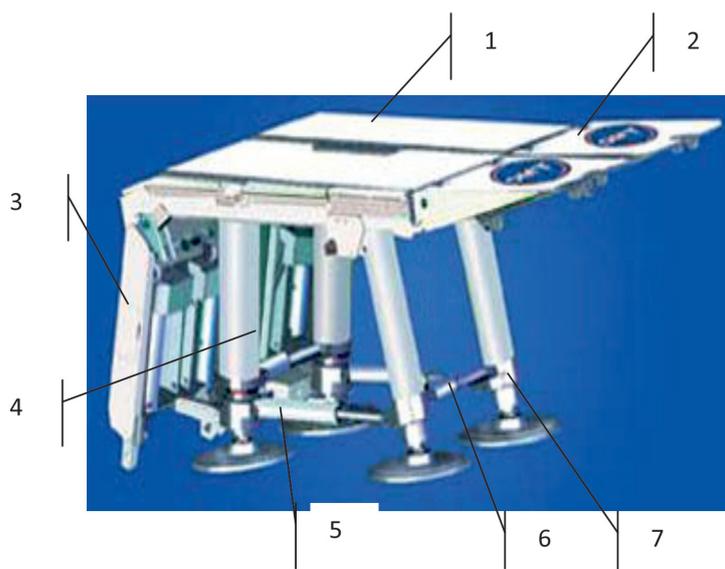


Рис. 1. Две секции крепи M-130: 1, 2, 3 – соответственно перекрытие, козырек и ограждение; 4, 7 – задняя и передняя гидростойки; 5, 6 – продольный и поперечный гидродомкраты

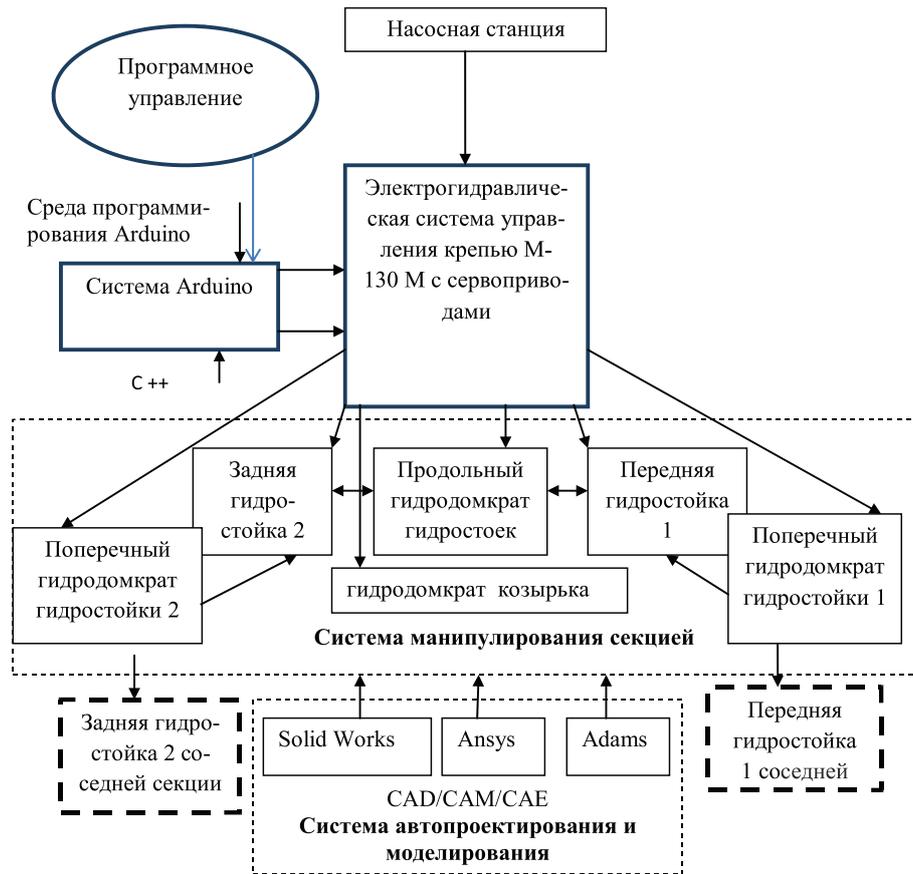


Рис. 2. Модель управления робототехнической системы М-130 Р с элементами многомерных классификаций

На рис. 3 приведены зависимости объема вывалов от ширины неподдерживаемой полосы кровли для крепей типа М-81, М-130 и МК-97, как видно из рисунков, характер зависимостей сохраняется для различных типов крепей и диапазонов вынимаемых мощностей пластов. Они построены по формально устаревшим данным, но и в настоящее время параметры крепи М-130 не ниже современных средств. А это позволяет использовать результаты и ныне в условиях одинаковой нарушенности кровли забоев, оцениваемой коэффициентом нарушенности K_n . K_n есть отношение суммарной длины участков кровли нарушенных вывалами к общей длине забоя. Простои, связанные с организационными причинами, являются устранимыми. Поэтому такие факторы, как количество операций, выполняемых за 1 цикл выемки в очистном забое, вытекающие из технологической схемы, позволяют повысить производительности труда при их минимизации. Чем чаще циклы передвижки, тем больше операций выполняется. Так как при передвижке на полный шаг равный

в последней от ЦП секции, величина возможного хода на остальных уменьшается обратно пропорционально расстоянию секций от ЦП и становится меньше, чем b . Причины, влияющие на увеличение времени выстоя устраниваются при применении схем роботизированной выемки. В этом случае при повороте передвижка секций ближних к ЦП возможна сразу на величину захвата комбайна (за это время удаленные секции совершат несколько движек). Так можно уменьшить количество циклов, в каждом из которых выполняется снятие с распора перед передвижкой и последующий её распор. Однако время выстоя кровли будет по-прежнему большим, что провоцирует вывалообразование из кровли и ухудшение состояния забоя. Из выражения (*) следует, что негативные факторы особенно возрастают с увеличением длины лавы. Поэтому актуально возвращение к коротким лавам с технологией разворота до 180 градусов. Проблема же проходки транспортной выработки отпадает, так как она получается креплением части выработанного

пространства, примыкающего к еще не отработанному пласту с последующим её использованием после разворота. Перечислим и другие причины:

– существенно упростится управление состоянием забоя как по причине возможностей визуального наблюдения за забоем оператором, так и вследствие улучшения геомеханической обстановки при работе в однородных породах;

– автоматизация работ упрощается, и все больше основных и дополнительных процессов теперь станет возможным выполнять автоматически;

– появляется возможность упорядоченности процессов управления боковыми породами и поддержки заданного состояния забоя.

Это открывает возможности применения в коротких забоях робототехники. Их технологические схемы являются гибкими с возможностью приспособления к различным горногеологическим условиям, видам применяемого оборудования и программному обеспечению.

набивалась породная мелочь, и в результате оно занимало наклонное положение, резко увеличивая длину крепи и нагрузку на заднюю часть. В печати известна и критика конструкции гидростоек с тарельчатыми опорами из-за их индивидуальной работы. Однако такие доводы отменялись достигнутыми результатами. Производительность лав с М-130 была наивысшей в бассейне и разве только уступала отдельным рекордам, достигнутыми комплексами с уникальной крепью ОКП-70. Этому способствовало и рабочее сечение М-130 для вентиляции забоя, обеспечивающее лучшие в мире условия для проветривания лав. Независимость же гидростоек, относимая к недостаткам, при умелом управлении становилась достоинством. Крепь могла шагать сама, и не нуждалась в связи к конвейер балкой, а следовательно, при развороте лавы могла «дождаться» положения для передвижки на полный ход. Гидростойки были гибко связаны друг с другом и соседними секциями домкратами, но нуждались в умелом

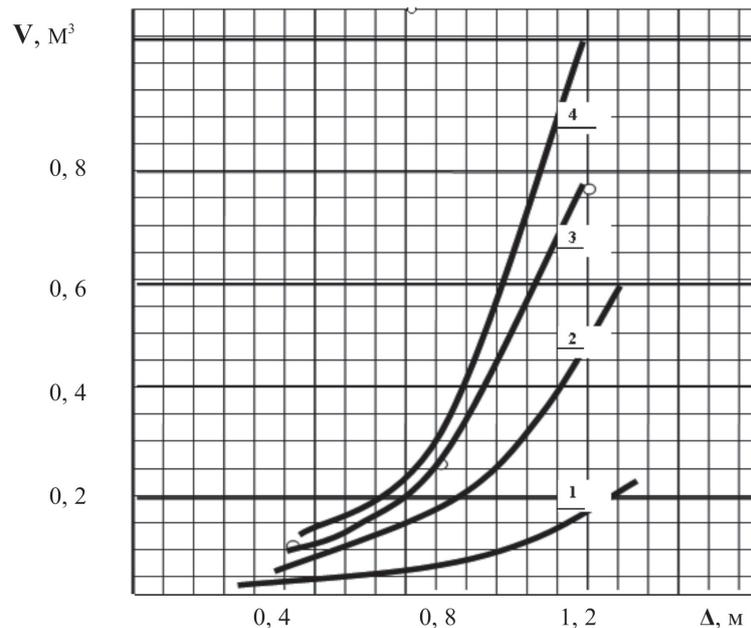
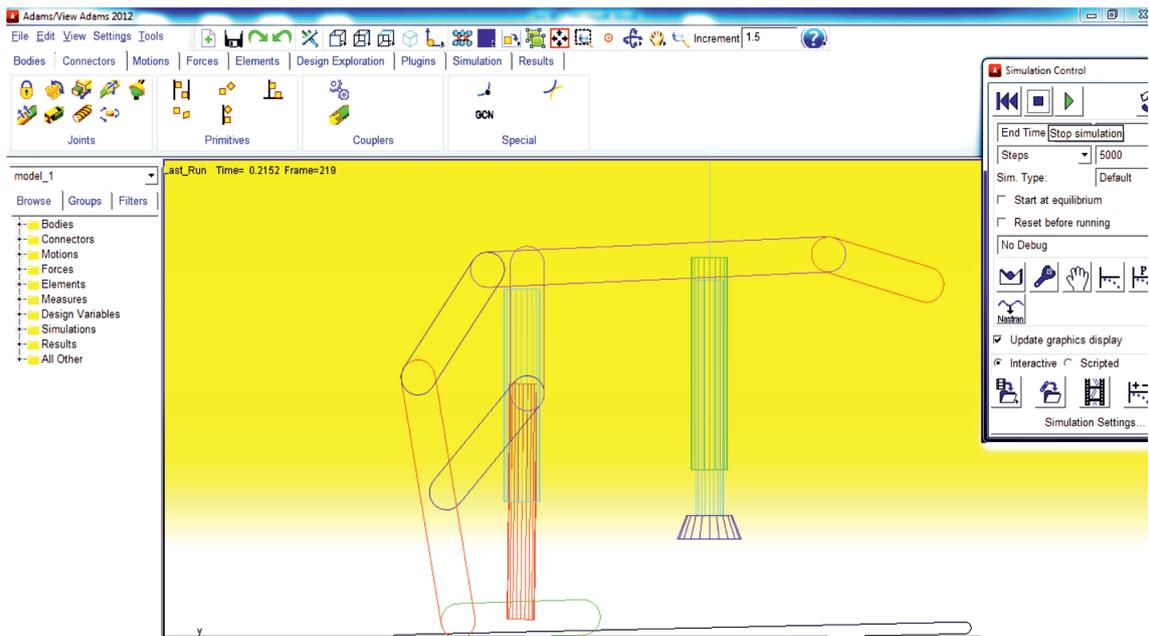


Рис. 3. Объём вывалов от ширины неподдерживаемой кровли: 1, 2, 3, 4 – соответственно для времени выстоя кровли у забоя в течение 1, 2, 3 и 4 час

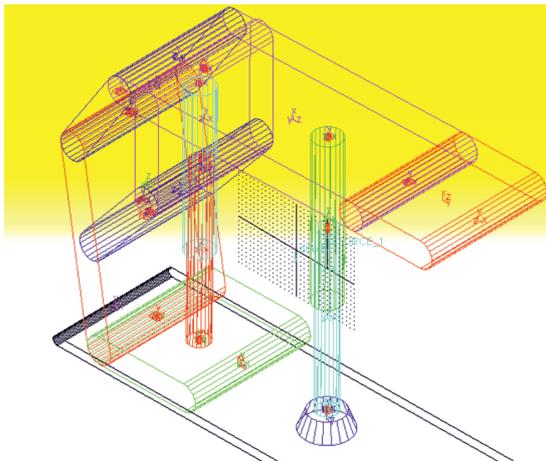
Модернизация, моделирование и результаты

Было немало попыток модернизировать М-130. Так, известны предложения, придать ей единое основание вместо тарельчатых опор. Телескопически выдвигное ограждение крепи, подвешенное к верхняку, вошло по почве вслед за секцией. Под неё

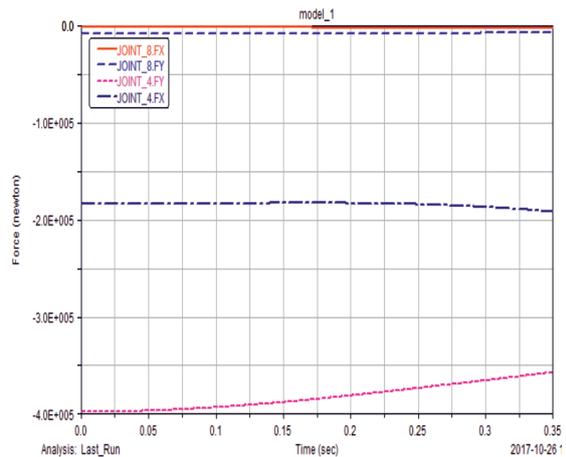
управлении, так как автоматизированной системы передвижения в ней не было. При наличии программного управления и придания большего соответствия возможностям робототехники такая система могла бы успешно использоваться в современных системах короткозабойной выемки. Конструктивные изменения заключались в подвеске



а)



б)



в)

Рис. 4. Симуляция конструктивной схемы робота в пакете Adams (фото с экрана): а) симуляция передней гидростойки; б) вид в 3D, в) графические зависимости опорных реакций и ускорений в шарнирах при движении

ограждения на рычажном лемнискатном механизме (он смонтирован в верхней части у перекрытия) и его соединением снизу с пятой задней гидростойки. Это придавало устойчивость в продольном и поперечном направлении и так же, как и в креплениях Глиник, но в то же время возможности управления секцией были выше из-за меньшего веса и возможности избирательного положения передней гидростойки. Она про-

граммно управлялась домкратами, см. симуляцию движений крепи в пакете Adams (рис. 4). Пакет позволяет получить силовые параметры (скорости, ускорения и опорные реакции в любом шарнире секции) для 3D модели. При этом учитывается смещение перекрытия под действием сил горного давления с учетом возможных положений элементов крепи, гидростоек, включая и несимметричное нагружение секции.

Adams приспособлен для проектирования робототехники, а его приложения могут программироваться на языке C++, что повышает возможности оптимизации конструкции. Полученные же коды легко адаптировать к системе Arduino и наоборот. Для секции по технологии [3, 6] разработана многомерная база сетевого типа, включающая основные конструктивные элементы. В узлах базы – таблицы, с программами обработки (макросы и модули), создается возможность использования комплекса пакетов для моделирования процессов в 3D. В базах поддерживается иерархическая структура, а с учетом мощного программного обеспечения в узлах, соединяемых через гиперссылки с внешним программным обеспечением, и сетевая структура, с взаимодействием не только с соседними сопрягаемыми узлами, но и расположенными за пределами моделируемого объекта. Эти широкие возможности возможных соединений через узлы-таблицы с мощными процессорами программных пакетов сближают сетевую базу с нейросетью [7]. Так обеспечиваются возможности экспертного анализа и самообучения на основе [4], алгоритмы которых не сложны и изложены на с. 46–47 на языке Basic. В базе заложена система, позволяющая объединять пространственные узлы, казалось бы, разных по назначению баз, но работающих в единой логике, при этом образуя ансамбли нейросети в сложных областях, а в простых переходя к классической иерархии. Так создается «осознание» (прогнозирование) роботом предстоящего положения в забое.

Заключение

Прогнозирование показывает, что робототехника и новые технологии их применения способны придать новый импульс развитию подземной добыче минералов и вывести её на лидирующие позиции. Встает задача разработки программ управления горными роботами и их конструктивных универсальных схем, которую можно разделить на этапы создания моделей для управления упрощенными макетами и использования современного оборудования автоматизированного управления механизированными крепями на основе, например, электрогидравлических распределителей и датчиков германской фирмы Marco. При этом технологические схемы должны предусматривать возможность присутствия человека в забое.

Список литературы

1. Дязитдинова А.Р. Структурный подход к проектированию информационных систем: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Проектирование информационных систем» / А.Р. Дязитдинова, Р.Р. Халимов, Е.И. Жданова. – Самара: ГОУ ВПО ПГУТИ, 2011. – 51 с.
2. Михед А.Д. Моделирование манипулятора кисти андроида / А.Д. Михед, Е.Е. Смирнова, Ю.В. Липатова // Известия ТулГУ, Технические науки. – 2016. – Вып. 11. Ч. 2. – С. 343–347.
3. Бейсембаев К.М. Демонстрационная разработка элементов баз автоуправления / К.М. Бейсембаев // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 9. – С. 9–13.
4. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему / К. Нейлор. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
5. Soleiman Nouri F., Haddad Zarif M., Fateh M.M. Designing an adaptive fuzzy control for robot manipulators using PSO // Journal of AI and Data Mining. – 2014. – Vol. 2, № 2. – P. 125–133.
6. Автопроектирование горных машин в 3D: проектно-модельный подход: учебное пособие / К.М. Бейсембаев, В.Ф. Дёмин, Г.С. Жолдыбаева и др. – Караганда: Изд. КарГТУ, 2016. – 207 с.
7. Marcman H. The blue brain project. NatRevNeurosci. – 2006. – № 7. – P. 153–160.

УДК 004:65.012.2

**СЕМАНТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМАЛИЗОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОВАРНОГО ПРОДУКТА.
ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ**

Ивлев М.А.

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: ivlev-ma@yandex.ru*

Решаются проблемы формализации слабоструктурированных объектов и процессов управления производственными системами при внешнем проектировании инновационного продукта. Целью формализованного управления является повышение конкурентоспособности продукции и услуг на основе разработки новых и модернизации продуктов, освоенных в производстве ранее. Сейчас в этой области используются эвристические подходы, интуитивный характер которых обуславливает вероятные ошибки при принятии управленческих решений, цена которых тем больше, чем раньше они допущены. Поставленная цель может быть достигнута за счет разработки автоматизированной системы поддержки принятия решений, создание которой предусматривает построение семантической и абстрактной теории новых моделей управления. В качестве семантической предпосылки таких моделей предлагается принять известную теорию субъективной реальности и информационной инвариантности. Показана перспективность развития этой теории на рассматриваемую предметную область на основе выявленного формального сходства процессов формирования и передачи информации с процессами производства и потребления товарного продукта. Инновационный характер продукта, обуславливающий конкурентоспособность, формируется на основе его представления как дифференцированного товара и его структурной оптимизации. Определено направление дальнейших исследований в рамках создания теоретико-семантической платформы новых моделей управления.

Ключевые слова: проектирование инновационного продукта, система поддержки принятия решений, семантическая основа моделей управления, субъективная реальность и информационная инвариантность

**SEMANTIC PRECONDITIONS OF THE FORMALIZED CONTROL
OF INDUSTRIAL SYSTEMS AT DESIGNING A COMMODITY PRODUCT.
INFORMATION INVARIANCY**

Ivlev M.A.

*Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: ivlev-ma@yandex.ru*

Problems of formalization of nonstructural objects and nonstructural processes of control of industrial systems at external designing of innovation product are solved. A goal of the formalized control is the increase of competitiveness of the manufacturer of production and services on the basis of creating of new products and modernization of products manufactured earlier. Now in this area the heuristic approaches are used, which intuitive character causes probable mistakes at acceptance of the administrative decisions, which price of themes is more, than earlier they are admitted. The purpose can be achieved at the expense of designing of the automated system of support of the decisions acceptance, which creation provides construction of the semantic and abstract theory of new models of objects and processes of control. As the semantic precondition of such models it is offered to accept the known theory of a subjective reality and information invariancy. Is shown the prospect of development of this theory on a considered subject domain on the basis of the revealed formal similarity of formation processes of information and transfer processes of information with processes of manufacture and consumption of a commodity product. Innovative character of a product causing its competitiveness, is formed on the basis of its representation as differentiated product and its structural optimization. The directions of the further researches are formulated within the framework of creation of a theory-semantic platform of new models are formulated.

Keywords: designing of innovation product, system of support of decisions acceptance, semantic basis of control models, subjective reality and information invariancy

**Постановка задачи
и терминология исследования**

В области формализованного описания производственных систем (ПС) при проектировании товарного продукта наименее структурированы объекты и процессы управления ПС на так называемых внешних стадиях – стадиях, предшествующих конструкторско-технологической

разработке. Управление осуществляется лицом, принимающим решения (ЛПР), на эвристической основе, опираясь на известные примеры успешных практик. При этом субъективность управления обуславливает отсутствие его целенаправленности и, как следствие, – ошибки в принятии решений ЛПР. Негативные последствия этих ошибок (производство невостребованных продуктов) наиболее существенны при поставке

на рынок инновационных продуктов по инициативе производителя без конкретного заказчика при коммерческом риске разработчика и изготовителя. Решение задач управления ПС с применением формализованных методов на основе моделей объектов и процессов управления актуально при осуществлении радикальных инновационных процессов – при создании новых продуктов, анализе и оценке уровня качества выпускаемой продукции и при осуществлении инкрементальных инновационных процессов – целенаправленной и своевременной её модернизации. Перечисленные виды инновационной деятельности (ИД) являются критическими в том смысле, что они определяют инновационный характер всего жизненного цикла продукта. Если радикальные инновации кардинально меняют положение вещей в той либо иной области и связаны с изменениями принципов построения, моделей инновационных продуктов, то инкрементальные инновации представляют собой доработку уже существующих инновационных продуктов при их производстве. Необходимость последних обусловлена ограниченным временем инновационного преимущества продукта и стремлением производителя увеличить доход от рыночной реализации инновационного продукта за счет продления прибыльных фаз его жизненного цикла.

В настоящей работе в качестве основного выбран социально-экономический аспект формализованного управления. С одной стороны, такой выбор определен практической задачей исследования: применение разрабатываемых знаний и технологий должно обеспечить повышение экономической эффективности функционирования и развития организации в любых сферах продуктивной деятельности. С другой стороны, выбор такого подхода к управлению ПС обусловлен необходимостью отражения в исследовании влияния социума как потребителя продукта ИД на процессы и эффективность управления его производством. В рамках этого аспекта определим используемую терминологию.

Производство, производственная деятельность – любая деятельность, создающая стоимость. Термин «стоимость» имеет несколько смыслов:

1) потребительская стоимость – полезность вещи, ее способность удовлетворять какую-нибудь потребность человека (определяет предпочтение потребителя, например, при принятии решения об оценке объекта потребления в терминах «качественная вещь (способна удовлетворять по-

требность) – некачественная» (не способна удовлетворять потребность);

2) денежное выражение ценности вещи.

Продукт производства (продукт) – результат материального или нематериального производства, имеющий целевое значение и качественные свойства, в связи с которыми он может служить предметом (объектом) потребления. В данном исследовании представляет интерес не любой продукт, а товарный продукт (товар) – продукт труда (производства), изготовленный для обмена, продажи. В соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании» продуктом производства могут быть: *продукция* как результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования, и *услуга (работа)* – действие, полезное для потребителя. В соответствии с направленностью данной работы непосредственный интерес представляют *продукты инновационной деятельности*.

Инновационный продукт – продукт, конкурентные преимущества которого в течение инновационной стадии обусловлены его временной новизной и временной уникальностью. Инновационная стадия – это участок жизненного цикла продукта (товара или услуги) от идеи до появления на рынке (региональном или глобальном) первого прямого продукта-конкурента, т.е. функционального заменителя (аналогичного по качеству) со сравнимой ценой.

Качество в соответствии со стандартом ИСО 8402-94 есть совокупность свойств и характеристик продукции или услуги, которые придают им способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. Иногда как аналоги термина «качество» применяются близкие по смыслу термины, которые означают способность товара или услуги удовлетворять потребности, а именно «полезность» и «потребительная стоимость» – термины, характеризующие продукт как предмет потребления, наличие у него свойств и качеств, позволяющих удовлетворять человеческие потребности.

Проектирование – процесс создания проекта – прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, состояния.

Требование инвариантности как ключевого компонента системного подхода к разработке моделей управления

Важнейшим принципом системного подхода к разработке моделей действительности является принцип разработки системных классификаторов – инвариантов [1]. Инвариантный аспект системы – её категория,

остающаяся неизменной при различных преобразованиях в системе. Теория моделей, каждый из двух ее аспектов – смысловой и формальный – должны отражать инвариантные свойства моделируемых объектов действительности. Выполнение этого требования позволит специалистам, занимающимся задачами анализа и управления, применять общие принципы формирования управляющих воздействий, приводящих объект управления (ОУ) в желаемое состояние. При этом на ОУ открываются новые управляющие входы, влияющие на более «тонкие» элементы его выхода (реакции) и позволяющие более эффективно достичь требуемого результата управления.

С практической точки зрения инвариантность модели даст возможность расширить спектр доступных альтернативных (или множества допустимых) управленческих решений в отношении моделируемого объекта, что способствует принятию их более рациональных или в ряде случаев оптимальных вариантов.

Формальная инвариантность системного подхода на основе теории множеств – способность описывать структурно сходные процессы и явления, описываемые средствами различных научных областей, продемонстрирована в работе [2]. Содержательная инвариантность теории моделей в соответствии с системным подходом может быть достигнута в процессе составления семантического описания конкретной предметной области. Его задачами являются формулирование качества функционирования ОУ как системы, определение границ этой системы и задание смысловых модельных понятий. Отсюда следует важный вывод: именно смысловой, неформальный аспект теории моделей отвечает за выполнение требования инвариантности системного подхода при его практическом применении. Данный вывод согласуется с иерархической моделью управления ПС, верхний уровень которой занимает процесс построения семантического описания объекта управления [3].

Принцип инвариантов диктует создание *идеальной модели* управления, предполагающей выделение указанных выше существенных свойств объектов. Особенность идеальной модели состоит в том, что она показывает лишь принципиальные возможности получения заданных состояний объекта моделирования, а практические средства достижения этих состояний в модели могут быть не определены. Подобные модели требуют конкретизации с учетом особенностей предметной области, развития их семантической теории и идентификации

на этой основе инвариантов ОУ, раскрывающих инструменты практической реализации модели. Таким образом, этап построения (выбора) идеализированной модели принципиально необходим для упрощения реального объекта в степени, достаточной для выявления инварианта, который, в свою очередь, позволяет сформировать практически реализуемый алгоритм управления. В качестве основы указанной идеальной модели, в рамках которой будет идентифицирован системный инвариант социально-экономического субъекта, предлагается принять алгоритм многоуровневого адаптивного управления (АУ) сложным объектом (предложен в [4], пример практического применения рассмотрен в [3]).

Таким образом, поиск инвариантных аспектов ПС, адекватно описывающих их на всех, в том числе ранних стадиях жизненного цикла продукции (услуг) ПС, становится первоочередной задачей в решении проблемы построения формализованных моделей и процессов управления ПС при проектировании, мониторинге качества и развитии инновационного продукта, который рассматривается как дифференцированный товар [3, 5, 6]. Покажем целесообразность и возможность решения указанной задачи на основе развития и применения концепции субъективной реальности и информационной инвариантности [7].

Концепция субъективной реальности и информационной инвариантности

Как требует системный подход [2], для создания гибких (адаптивных) систем управления ПС нужно научиться формировать группы (классы) социально-экономических объектов, однородных по существенным свойствам. Поэтому одной из основных задач разработки формализованного управления ПС является определение ее инварианта, позволяющего реализовать данный принцип системного подхода. При ее решении необходимо учесть следующую особенность рассматриваемой предметной области.

Предмет исследований настоящей работы – подмножество социально-экономических систем, важнейшим компонентом которых является человек (разработчик, производитель, потребитель продукта). Именно поэтому необходимо проанализировать и учитывать процессы коммуникаций, осуществления выбора варианта действий активного «компонента» системы – человека и его поведения в целом. Процессы управления в таких системах невозможно совершенствовать без анализа феномена сознания с позиций восприятия, оценки лич-

ностью окружающего мира и себя в нем. Для такого анализа целесообразно применить *теорию субъективной реальности и информационной инвариантности* [7], основные положения которой с точки зрения решаемых проблем управления ПС приведены ниже.

Суть сознания определяется как «субъективно переживаемое состояние». По автору концепции – Д.И. Дубровскому человек живет в мире «субъективной реальности», ощущаемой посредством личного субъективного опыта в течение всей жизни. Поэтому такие человеческие категории, как разум и волеизъявление, свобода и самополагание, зарождаются и формируются лишь в среде субъективной реальности: «Иные ценности, все целереализующие действия немислимы вне этой формы, выражающей суть живого человеческого духа во всех его ипостасях» [7].

Важным компонентом рассматриваемой концепции является трактовка субъективной реальности как переживаемой личностью информации, которая представляет собой субъективное ощущение реального мира. Эта трактовка легла в основу одного из ключевых для решения поставленных задач положений – *положения информационной инвариантности*, значение которого, по нашему мнению, выходит за пределы той предметной области, для которой оно сформулировано Д.И. Дубровским – для анализа поведения человека как сложной самоуправляемой устойчивой системы. Ценность теории субъективной реальности и информационной инвариантности (далее для краткости – концепции информационной инвариантности) для решения проблем, поставленных в настоящей работе, обусловлена социальным аспектом ПС как объекта исследования.

Можно предположить, что в основе концепции информационной инвариантности лежит общая теория информации в целом и теория передачи информации в частности, в соответствии с которыми материальным носителем информации является физический процесс, параметры которого меняются (кодируются, модулируются) в соответствии с переносимой информацией [8]. Так, в технических системах наиболее часто, хотя и не исключительно, в качестве носителя информации используются электрические колебания. Способы изменения их параметров (варианты кодирования) различны: основными вариантами электрических носителей информации являются амплитудно-, фазо- и частотно-модулированные колебания, формируемые в процессе кодирования соответствующих

параметров колебаний. «Приемник» информации декодирует (демодулирует, детектирует) полученный кодированный носитель и извлекает таким образом из «посылки» содержащуюся в ней информацию. Таким образом, кодовая реализация комплекса «носитель + информация» (при формировании, передаче и приеме информации) для одной и той же информации может быть разной по своим физическим свойствам. С другой стороны, один и тот же носитель может «переносить» различную информацию от ее источника до получателя. В этом состоит принцип инвариантности информации по отношению к физическим свойствам ее носителя.

Вклад работы [7] в развитие принципа информационной инвариантности, актуального в решении поставленных в данной работе задач формализованного управления ПС, которое на основе информационного подхода можно трактовать как управление информационными ресурсами производственной системы при проектировании инновационного продукта, состоит в следующих положениях:

1. Показано, что картина субъективной реальности как «текущее настоящее» фактически обуславливает среду существования личности.

2. Явления субъективной реальности интерпретированы как информация о том или ином явлении действительности, следовательно, на основе общего принципа информационной инвариантности они могут вызываться различными материальными носителями этой информации.

3. Определив информацию как некоторое «значение» ее носителя для самоорганизующейся системы, автор концепции показывает её возможность выполнять каузальную функцию в задаче управления такими системами. Подчеркивается, что результат управления ими определяется именно информацией (картина мира, событий), а не физическими свойствами ее носителя самими по себе. Самоуправление состоит в формировании свойств носителя информации в соответствии с её так называемым значением, т.е. собственно информацией.

Представляется продуктивным с учетом предмета исследования эти положения развить для процессов производства и потребления продукта ПС на основе соответствующей интерпретации, составления и анализа схем информационных потоков от «источника» информации до его «приемника», как это принято в технических приложениях теории передачи информации.

Положение об информационной природе субъективной реальности поддержи-

вается и развивается и другими авторами. Так, автор работы [9] считает, что возможно взглянуть на субъективную реальность как на компонент особой информационной системы. При этом как наиболее заслуживающие внимания информационные процессы обоснованно выделяются два их вида: процесс построения и обновления субъектом модели действительности (окружающего мира) и процесс оценки успехов в удовлетворении субъектом своих потребностей в сфере субъективной реальности. В цитируемой работе её автор характеризует следующие особенности этих процессов: во-первых, создаваемая системой ощущения реальности модель представляет не все, а только некоторые [сущностные] стороны реальности, во-вторых, она представляет эти стороны в обобщенном виде, производном от нескольких так называемых элементарных свойств объективной реальности.

Выводы

Принцип информационной инвариантности как основы механизма оценки личностью действительности и общие принципы передачи информации в технических приложениях должны быть учтены и адаптированы к решению задачи построения систем управления ПС при проектировании товарного продукта, в частности при формализации качества продукта, формировании инвариантных аспектов ПС, уточнении семантических системных связей между понятиями «продукт» и «потребительская стоимость». Отметим, что в работах [7, 9] авторы не ставили своей целью раскрыть суть этой информации и показать механизм формирования её материальных носителей в производственных системах, поэтому эти

вопросы требуют решения. С этой целью необходимо рассмотреть другие парадигмы поведения человека при принятии им решений в производстве и потреблении товарного продукта, сформированные независимо от рассмотренной концепции информационной инвариантности, но раскрывающие новые аспекты в социально-экономических отношениях людей как независимых самоуправляемых личностей (что выходит за рамки настоящей работы). К числу таких парадигм относится технологический подход к процессам потребления человеком товарных продуктов (модель К. Ланкастера).

Список литературы

1. Росс С.И. Математическое моделирование и управление национальной экономикой: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПб ГУ ИТМО, 2006. – 74 с.
2. Месарович М.Д. Общая теория систем и ее математические основы // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С.165–180.
3. Ивлев М.А. Методология и технологии управления социально-экономическими системами при проектировании и развитии инновационного продукта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Уфа, 2014. – 32 с.
4. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Советское радио, 1980. – 232 с.
5. Ивлев М.А. Методология и интерактивная технология концептуального управления производственно-экономическими системами // Организатор производства. – 2011. – № 3(50). – С. 24–28.
6. Ивлев М.А. Математические основы теории производства-потребления: определение вида, структуры и параметров моделей // Бизнес-информатика. – 2013. – № 1(23). – С. 10–18.
7. Дубровский Д.И. Сознание, мозг, искусственный интеллект: сборник статей. – М.: Evidentis, 2007. – 272 с.
8. Марченко А.Л., Марченко Е.А. Основы преобразования информационных сигналов: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 210 с.
9. Петров А.Н. Моделирование субъективной реальности [Электронный ресурс]. – URL: http://nouivers.narod.ru/pub/ap_egor.htm. (дата обращения: 13.11.2017).

УДК 004:65.012.2

СЕМАНТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОВАРНОГО ПРОДУКТА. МОДЕЛЬ ЛАНКАСТЕРА

Ивлев М.А.

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижегород, e-mail: ivlev-ma@yandex.ru*

Статья посвящена решению проблемы целенаправленного интерактивного управления производственными системами, реализующими продуктовые инновации, при проектировании и модернизации продукта на всех стадиях его жизненного цикла. В соответствии с предложенной автором ранее иерархической системой интерактивного управления первоочередной задачей является формирование новой семантической теории моделей управления, поскольку возможности известных подходов ограничены семантическими теориями, лежащими в их основе. В качестве предпосылки адекватного содержательного описания процессов удовлетворения потребностей потребителей продукта применена модель Ланкастера – концепция многоаспектного потребления. Показаны достоинства этой модели и причины её узкого практического применения в задачах формализованного управления. Выполнена адаптация модели Ланкастера к предметной области исследования и поставленным задачам, даны соответствующие интерпретации её положений, введены ключевые понятия, составившие базис новой семантической теории интерактивного управления. Таковой стала парадигма производства-потребления дифференцированного продукта, потреблением которого удовлетворяется определенная совокупность требований к состоянию потребителя. Отличительной особенностью парадигмы является системная интеграция процессов разработки и производства продукта с процессами его потребления, что позволило принять указанную парадигму теоретической платформой единого формализованного управления производственными системами на всех стадиях жизненного цикла товарного продукта, в том числе – на стадии его внешнего проектирования, определяющей его качество.

Ключевые слова: продуктовые инновации, внешнее проектирование продукта, система поддержки принятия решений, семантическая основа моделей управления, теория многоаспектного потребления

SEMANTIC PRECONDITIONS OF THE FORMALIZED CONTROL OF INDUSTRIAL SYSTEMS AT DESIGNING A COMMODITY PRODUCT. LANCASTER MODEL

Ivlev M.A.

*Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: ivlev-ma@yandex.ru*

Clause is devoted to the decision of a problem of purposeful interactive control of industrial systems realizing goods innovation, at designing and modernization of a product at all stages of its life cycle. According to offered the author before hierarchical system of interactive control of a prime task is the formation of the new semantic theory of control models, as the opportunities of the known approaches are limited to the semantic theories laying in their basis. As the precondition of the adequate substantial description of processes of satisfaction of needs of the consumers of a product the Lancaster model – concept of multidimensional consumption is applied. The advantages of this model and reasons of its limited practical application in tasks of the formalized control are shown. The adaptation of Lancaster model to a subject domain of research and put tasks is executed, the appropriate interpretations of its rules are given, the key concepts which have made basis of the new semantic theory of interactive control are entered. Those became paradigm of manufacture – consumption of a differentiated product, which consumption satisfies the certain set of the requirements to a condition of the consumer. Distinctive feature of paradigm is the system integration of processes of designing and manufacture of a product with processes of its consumption, that has allowed to accept specified paradigm by a theoretical platform of the uniform formalized control of industrial systems at all stages of life cycle of a commodity product, including – at a stage of its external designing determining its quality.

Keywords: grocery innovation, external designing of a product, system of support of acceptance of the decisions, semantic basis of models of management, theory of multidimensional consumption

В работе [1] выявлены недостатки известных подходов и научных дисциплин управления производственными системами – ПС (управления качеством, управления проектами, управления жизненными циклами (ЖЦ)), в рамках которых осуществляется их инновационная деятельность, обеспечивающая конкурентоспособность продуктов ПС. Существующие концепции управления ПС при создании продуктов с новым качеством ограничены отдельными

стадиями ЖЦ продукта (в основном стадиями изготовления продукции, реализации услуги) либо основаны на применении лучших практик менеджмента, что затрудняет целенаправленное системное проектирование и сопровождение производства инновационного продукта на всех стадиях его ЖЦ на основе предпочтений потребителя.

Рассматриваемые ПС, реализующие продуктовые инновации, относятся к сложным объектам, так как в отношении них

имеющиеся вычислительные, аналитические, временные, экономические и другие ресурсы недостаточны для исчерпывающего их описания и предсказания на этой основе их поведения в интересующих исследователя условиях. Проблема сложности не может быть решена, например, увеличением вычислительных ресурсов и их производительности, а также применением упрощения на основе аппроксимации, т.е. «усечения» математической модели. В [2, 3] показано, что системный подход, базирующийся на теории множеств, предлагает не усечение исходной модели с целью ее применения в условиях ограниченных ресурсов, а замену ее на другую – либо более абстрактную.

Применительно к проблеме моделирования производственных систем и процессов управления повышение степени абстракции означает учет и анализ более ранних – концептуальных стадий проектирования продукции и производств – начальных стадий ЖЦ товаров и ПС. Таким образом, актуальной является задача разработки именно концептуальных моделей продуктов и процессов управления производственными системами [4]. Такие модели будут востребованы в первую очередь при внешнем проектировании продукта – на стадии, предшествующей конструкторско-технологическому проектированию и определяющей качество и конкурентоспособность продукта ПС.

Методология исследования

Для решения поставленной задачи целесообразно рассматривать ПС как активную систему, в состав которой входят лица, принимающие решения (ЛПР) на основе своих предпочтений и с учетом действий других ЛПР. При этом всех ЛПР можно разделить на две группы: ЛПР1 – «проектировщики» (лица, принимающие решения при производстве продукта, в том числе – при его разработке, проектировании) и ЛПР2 – потребители продукта, которые принимают решение о приобретении продукта конкретного производителя (положительное решение) или об отказе от него (отрицательное решение). Ставится задача создания формализованной системы поддержки принятия таких решений ЛПР1, которые целенаправленно обеспечат положительное решение ЛПР2 в отношении продукта ПС. Такая система поддержки решений должна основываться на адекватных моделях продукта и его качества, которые могут быть использованы как при производстве, так и при его потреблении. В работах [5, 6] показано, что теория новых моделей систем поддержки принятия решений ЛПР должна опираться на соот-

ветствующие семантические и абстрактные основы. Известны разработки, выполненные как в рассматриваемой предметной области, так и в абстрактной сфере моделирования систем. Однако они в одних случаях представляют собой решение важных, но фрагментарных задач, не связанных единой методологией. В других случаях ценные идеи и потенциально продуктивные предложения не получили развития и практического использования и до настоящего времени не востребованы. Покажем целесообразность и возможность применения и развития одной из таких разработок в качестве компонента создаваемой теоретико-семантической платформы новых моделей управления – концепцию многоаспектного потребления товарного продукта (модель Ланкастера).

К. Ланкастер предложил технологический подход к моделированию механизма потребления, выстраивая аналогию между процессом потребления товарного продукта и процессом его производства [7]. Данную концепцию правомерно представить как пример применения процессного и ресурсного подходов к моделированию и управлению производственной организацией при проектировании продукта и далее использовать соответствующую терминологию. Процессный подход рассматривает функционирование объекта моделирования и анализа как преобразование входных компонентов конкретной предметной области (входов) в ее требуемые выходные компоненты (выходы). Ресурсный подход к анализу полагает, что функционирование объекта с достижением требуемых от него результатов может осуществляться при условии получения (потребления) необходимых и достаточных для этого ресурсов, которые в соответствии с концепцией многоаспектного потребления можно представить как входные компоненты – «входы» объекта.

Для анализа, адаптации и дальнейшей применения модели Ланкастера определим некоторые необходимые понятия.

Проектирование – процесс создания проекта – прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, состояния. Важной характеристикой проектирования является проектирование предполагаемого состояния. Возникает вопрос – проектируется состояние чего? Для ответа на него рассмотрим еще один принципиальный аспект проектирования. Объектом проектирования в общем случае считается система – средство достижения цели; основные особенности систем: целостность, относительная обособленность от окружающей среды, наличие связей со средой, наличие частей и связей между ними (структурирован-

ность), подчиненность всей организации системы некоторой цели [2]. Тогда ответ на поставленный вопрос будет следующим: «Проектируется состояние ПС, которого она достигнет за счет реализации на рынке разрабатываемого продукта».

Ресурс. Под термином ресурс понимается запас или источник средств (для осуществления деятельности), а *источник* есть: 1) то, из чего исходит, возникает, проистекает что-нибудь; 2) исходная причина, основа происхождения чего-либо. В соответствии с этими определениями будем акцентировать внимание на ресурсе как на исходной причине осуществления деятельности, отправном воздействии на производственную организацию.

Анализ концепции многоаспектного потребления – модели Ланкастера

С учетом принятых ресурсного и процессного подходов к моделированию и анализу объектов действительности дадим концепции многоаспектного потребления продукта ПС соответствующую интерпретацию.

В предметной области производственной деятельности её входами являются несколько потребляемых ресурсов, а выходом, результатом процесса производства – единый товарный продукт [7]. Эта часть концепции является констатацией известного положения ресурсного подхода к характеристике производственной деятельности. Более значима другая часть концепции. Для её формулирования и формирования законченной общей концепции К. Ланкастер вводит понятие аналогичное производственной деятельности – «потребительская деятельность». Тогда в ходе её осуществления на вход процесса «потребительская деятельность (потребление)» поступает тот самый единый товарный продукт, а результатом процесса потребления являются несколько «выходов». Таким образом, рассматриваемая аналогия является зеркальной – в отличие от процесса производства в процессе потребления рыночный продукт (одиночный объект потребления), приобретенный потребителем, преобразуются в несколько выходов, названных автором концепции *характеристиками*.

Отметим, что сформированная и рассмотренная концепция многоаспектного потребления не является всеобъемлющей, поскольку для некоторых видов потребительской деятельности могут потребоваться несколько товарных продуктов как входов процесса потребления, на выходе которого формируется требуемый потребителем набор «характеристик». Однако всеобъемлющей, несомненно, является другая сторона концепции Ланкастера, а именно то, что каждый товарный продукт (*единый товар*) – «вход» процесса потребления преобразуется в *несколько* «выходов» или характеристик, которым придан смысл аспектов продукции, интересующих потребителя (рис. 1, 2).

В рамках рассматриваемой концепции предполагается, что потребитель сформировал упорядоченное предпочтение на множестве указанных характеристик и стремится получить наиболее желательный их набор при ограничениях, определяемых покупательской способностью. Именно эти характеристики являются непосредственными объектами предпочтения, и производитель «торгует скорее наборами характеристик, а не товарами» [7]. В этом определении объектов предпочтения состоит одна из сторон рассматриваемого подхода Ланкастера, который будет применен в разработке новых моделей управления ПС при проектировании продукта.

Следующей важной особенностью технологии многоаспектного потребления, существенно отличающей её от традиционного альтернативного подхода, является то, что связи между категориями потребления «товар» и «характеристика» выражаются типом «один ко многим». К. Ланкастер подчеркивает, что его подход принципиально отличается от традиционной теории потребления тем, что в последней связь «товар – характеристика» определена как «один к одному»: «Товары, имеющие общую характеристику, могут иметь свои собственные характеристики, качественно отличные друг от друга, или могут иметь одинаковые характеристики, но в количественно различных комбинациях» [7].

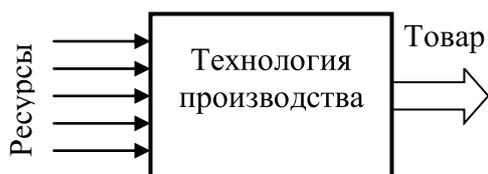


Рис. 1. Входы и выходы производственной технологии



Рис. 2. Входы и выходы технологии потребления

Отметим, что связь «один к одному» является сущностной характеристикой семантической теории личного потребления – её особенностью, которая и обуславливает принципиальную ограниченность традиционной методологии управления качеством в решении задачи проектирования инновационного продукта. Эта особенность теории личного потребления выявлена и исследована в работах [1, 6].

Рассмотренная концепция многоаспектного потребления (модель Ланкастера) без кардинального развития была повторена в известных работах других авторов с большими или меньшими незначительными для решения задач данного исследования дополнениями [8, 9]. Так, в наиболее близкой к теме данной статьи работе [8] её автор заменил термин «характеристика» термином «аспект» и ввел в обиход понятие многоаспектного товара, более адекватно подошел к определению сути «аспекта», а также более точно определил те области рыночной экономики, для которых такие понятия необходимо учитывать участникам производства и потребления товарной продукции.

Ф. Котлер, связав технологию многоаспектного потребления с удовлетворением потребностей общества, в основном положительно оценив её и призвав к её применению в стратегическом управлении, выразил сомнение в возможности современных инструментов управлять указанными аспектами при производстве товара [9].

В целом положения технологии многоаспектного потребления не были реализованы на уровне практических алгоритмов управления, хотя считаются необходимой попыткой перехода от модели потребления «экономического человека» к теории поведения «реального» потребителя [8]. В лучшем случае идеи рассмотренного подхода декларируются в различных концепциях управления, например в методологии управления качеством, что тем не менее не привело к созданию и практическому применению механизмов управления ПС на основе рассмотренной модели потребления.

Причинами этого обстоятельства нами видятся следующие внутренние ограничения технологии многоаспектного потребления, а также ряд внешних факторов.

Во-первых, «характеристики» и «аспекты» продукции не получили семантического описания, необходимого и достаточного для однозначного их понимания специалистами на разных стадиях ЖЦ товара – то есть описания, инвариантного всем стадиям ЖЦ, что затрудняет применение концепции многоаспектного потребления как семантической теории разрабатываемых моделей

управления ПС на стадии внешнего проектирования продукта.

Во-вторых, «характеристики» и «аспекты» определены как объекты предпочтения потребителей, а не объекты потребления, что было бы более конструктивно для формирования практических методик.

В-третьих, авторы рассмотренной технологии, ограничившись более или менее удачным вербальным описанием (например, в теории «домашнего производства» [8]), формально не разъединили понятия «товара» и важных для потребителя «характеристик»/«аспектов». Так, в качестве примеров этих аспектов указаны свойства «мощность», «габариты» продукции, которые не являются инвариантами относительно всех уровней адаптивного управления, рассмотренного в контексте решаемых задач в [6] и затрудняют его применение. А рассматриваемые аспекты должны быть инвариантными в тех областях, которые соответствуют пространствам состояния производственной системы и её продукта на всех стадиях его ЖЦ, т.е. эти аспекты должны соответствовать концепции субъективной реальности и информационной инвариантности, предложенной Д.И. Дубровским и примененной в работе [6].

В-четвертых, предпринятые попытки построения моделей многоаспектных товаров кроме смысловых ограничений, указанных выше, имели и формальные недостатки, существенные для решения задач формализации процессов управления ПС. Технология многоаспектного потребления не структурирована в той степени, которая позволила бы на ее основе построить компьютерные модули интерактивных систем управления – эффективных средств управления ПС.

Таким образом, актуальной является задача устранения указанных ограничений модели многоаспектного потребления товара в задаче управления ПС на всех стадиях ЖЦ продукта.

Содержательная и формальная адаптация концепции Ланкастера

С учетом требования инвариантности новых моделей управления и, следовательно, инвариантности их теоретических основ, а также принятого выше положения системного подхода о том, что целью проектирования является новое состояние системы, которого она достигнет при реализации на рынке/потреблении проектируемого продукта ПС, понятию «характеристика» или «аспект» придадим смысл *требования к состоянию потребителя* (ТСП) [6]. Кроме того, введенное понятие соответствует

требованию абстрактности аспекта как некоторого прообраза – аспекта, отделенного от конкретного продукта (образа), что позволило применить его в качестве ключевого понятия в *семантической теории* моделей – парадигме производства-потребления, представляющей собой единое описание процесса производства (включая проектирование) и процесса потребления [6, 10].

Введенное понятие ТСП, трактуемое как элемент множества требований к состоянию потребителя продукта, позволяет в качестве *формальной основы* новых моделей управления применить аксиоматическую теорию множеств. При этом управленческие решения проектировщика о структуре ТСП продукта моделируются вектором, элементы которого принимают значения 0 или 1, что дает возможность без дополнительных преобразований выполнять цифровую обработку данных и находить оптимальные варианты совокупности ТСП, удовлетворяемых при потреблении продукта, в виртуальной компьютерной среде информационной системы поддержки принятия решений.

Заключение

Адаптация концепции многоаспектного потребления Ланкастера к задаче формализации управления ПС при проектировании товарного продукта, а также системная интеграция этой концепции с другими теориями и парадигмами (в частности, с концепцией субъективной реальности и информационной инвариантности) обеспечили формирование единой семантической теории моделей как необходимого звена системы поддержки решений ЛПР1 – проектировщика инновационного продукта ПС. Бинарный характер ключевых компонентов семантической теории моделей, описывающей решения ЛПР1 и качество продукта

(решение ЛПР1 о «включении» конкретного ТСП в продукт или альтернативное решение), позволяет перейти к структурированию технологий управления в базисе аксиоматической теории множеств. Множество с элементами в виде требований к состоянию потребителя, сформированное ЛПР1 при проектировании продукта, обуславливает его качество: совокупность ТСП будет реализована (достигнуто состояние потребителя) при потреблении (использовании) продукта.

Список литературы

1. Ивлев М.А. Анализ подходов к управлению производственной организацией в задачах проектирования и развития инновационной продукции // *Современные наукоемкие технологии*. – 2015. – № 9. – С. 29–34.
2. Месарович М.Д. Общая теория систем и ее математические основы // *Исследования по общей теории систем*. – М.: Прогресс, 1969. – С. 165–180.
3. Денисов А.А. Современные проблемы системного анализа: учебник для вузов. – СПб.: Изд-во политехн. унта. – 2008. – 303 с.
4. Теслинов А.Г. Концептуальное проектирование сложных решений. – СПб.: Питер, 2009. – 288 с.
5. Дьячко А.Г. Математическое и имитационное моделирование производственных систем: Научное издание. – М.: МИСИС, 2007. – 540 с.
6. Ивлев М.А. Методология и технологии управления социально-экономическими системами при проектировании и развитии инновационного продукта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Уфа, 2014. – 32 с.
7. Lancaster K.J. A New Approach to Consumer Theory // *Journal of Political Economy*, 1966. – Vol. 74. – № 2. – P. 132–157.
8. Ламбен Жан-Жак. Стратегический маркетинг. Европейская перспектива / Пер. с французского. – СПб.: Наука, 1996. – 589 с.
9. Котлер Ф. Основы маркетинга. Краткий курс. – М.: Вильямс, 2016. – 496 с.
10. Ивлев М.А. Математические основы теории производства-потребления: определение вида, структуры и параметров моделей // *Бизнес-информатика*. – 2013. – № 1(23). – С. 10–18.

УДК 004.6/85

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ WORD2VEC ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БОЛЬШИХ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Черепков Е.А., Глебов С.А.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: e.cherepkov@ya.ru

В данной статье приведен вариант использования модели Word2Vec и алгоритма k-means для кластеризации большого количества текстовой информации. Рассмотрены основные этапы работы модели: подготовка данных, генерация векторов слов и кластеризация слов. На этапе генерации векторов слов для обучения модели используется набор данных 20 Newsgroups data set. Для генерации используется модель Skip-gram. Для кластеризации используется алгоритм K-means, который разбивает N элементов на K-кластеров. Далее оценивается производительность модели и эффективность классификации, при помощи показателя F1-micro и времени работы алгоритма. На основе полученных результатов был сделан вывод о том, что модель Word2Vec успешно справляется с поиском семантически связанных слов и в результате получаются правильные кластеры.

Ключевые слова: большие данные, Word2Vec, кластеризация, k-means

USING WORD2VEC MODEL FOR CLUSTERING BIG TEXT DATA

Cherepkov E.A., Glebov S.A.

Kaluga branch of the Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)», Kaluga, e-mail: e.cherepkov@ya.ru

This article describes the use Word2Vec model and k-means algorithm for clustering large amount of textual information. Describes the main stages of the model: data preparation, generation of words vectors and clustering words. At the stage of generation of word vectors for learning the model, the data set 20 Newsgroups data set is used. To generate the model is used Skip-gram. For clustering, the K-means algorithm is used, which splits N elements into K-clusters. Further, the model performance and classification efficiency are estimated using the F1-micro indicator and the algorithm running time. Based on the results obtained, it was concluded that the Word2Vec model successfully copes with the search for semantically related words, and as a result, the right clusters are obtained.

Keywords: big data, Word2Vec, clustering, k-means

Большие данные [1] – это огромный набор данных со сложной структурой [2]. Такие данные встречаются в различных областях: биология, медицина, социальные сети, аналитика продаж и гуманитарные науки [3]. Наличие в системе большого количества данных накладывает ограничения на применяемые технологии хранения [4] и обработки данных. Обработка большого набора данных является сложной задачей для традиционных инструментов. Поэтому были созданы новые методы, как альтернатива традиционным СУБД и методам Business Intelligence. Сюда можно включить такие средства массово-параллельной обработки неопределенно структурированных данных, как NoSQL решения, библиотеки проекта Hadoop, а также алгоритмы MapReduce. Для анализа больших данных применяются технологии искусственного интеллекта и алгоритмы машинного обучения [5]. Чтобы сделать алгоритм обучения более эффективным и устранить риск переобучения, необходим способ уменьшить размер данных.

Модель Word2vec [6], созданная Google, представляет собой нейронную сеть, которая

обрабатывает текстовые данные. Word2Vec – это не один алгоритм, он включает в себя две модели обучения: «Continuous Bag of Words» (CBOW) и Skip-gram [7, 8]. CBOW – «непрерывный мешок со словами», архитектура, которая предсказывает текущее слово, исходя из окружающего его контекста. Архитектура типа Skip-gram действует иначе: она использует текущее слово, чтобы предугадывать окружающие его слова. Имеется возможность переключаться и делать выбор между алгоритмами. Порядок слов контекста не оказывает влияния на результат ни в одном из этих алгоритмов. На вход в обучающую модель Word2Vec подается текстовый массив данных, а на выходе генерируются векторы слов. Кроме того, Word2Vec имеет возможность вычислять косинусное расстояние между каждым словом. Поэтому выгодно группировать похожие слова на основе их расстояний. Сгруппировав подобные слова, исходный размер данных проецируется на новое, более низкое измерение. На первом этапе в модель Word2Vec подается крупномасштабный текстовый массив данных для создания векторов слов. На следующем эта-

пе для кластеризации этих векторов слов используется алгоритм машинного обучения (K-means) [9], где слова (признаки) группируются в K различных кластеров. Алгоритм k-means разбивает исходное множество объектов на k кластеров так, что средние в кластере (для всех переменных) максимально возможно отличаются друг от друга.

Выбор числа k может основываться на предыдущих результатах, теоретических основах или интуиции. Если нет предположений относительно этого числа, рекомендуют начинать с меньшего количества, постепенно увеличивая его и сравнивая полученные результаты.

Работа алгоритма состоит из нескольких этапов:

- случайным образом выбрать k точек, являющихся начальными «центрами масс» кластеров;
- отнести каждый объект к кластеру с ближайшим «центром масс»;
- пересчитать «центры масс» кластеров согласно их текущему составу;
- если критерий остановки алгоритма не удовлетворен, вернуться к п. 2.

В качестве критерия остановки работы алгоритма обычно выбирают одно из двух условий:

- «центры масс» кластеров стабилизировались, т.е. все наблюдения принадлежат кластеру, которому принадлежали до текущей итерации;
- число итераций равно максимальному числу итераций.

Генерация вектора слов

Для обучения используется популярный набор данных 20 Newsgroups data set [10]. Данные «The 20 Newsgroups» – это коллекция примерно из 20000 новостных документов, разделенная (приблизительно) равномерно между 20 различными категориями. Изначально она собиралась Кеном Ленгом (Ken Lang) для его работы «Newsweeder: Learning to filter netnews» («Новостной обозреватель: учимся фильтровать новости из сети»), хотя он явно не заявлял об этом. Коллекция «The 20 newsgroups» стала популярным набором данных для экспериментов с техниками машинного обучения для текстовых приложений, таких как классификация текста или его кластеризация. Данные разделены на 20 групп, и каждая текстовая группа соответствует разным доменам, таким как sci.med и rec.autos. Для оценки модели используется 11314 обучающих данных. Прежде чем подавать обучающие данные в Word2Vec, необходимо их подготовить. Для работы необходимо обучить нейронную сеть. Набор учебных дан-

ных для нейросети Word2vec конструируем следующим образом.

1. Очищаем входной текст T от лишних символов (знаки препинания и т.п.).

2. Из очищенного текста T собираем словарь W .

3. Для каждого слова $w_i \in T$ собираем контекст, т.е. набор слов $C_i \subset T$, удалённых от w_i не более чем на s позиций в последовательности слов T . $C_i = \{w_j \in T: (i-s) \leq j \leq (i+s), j \neq i\}$ иначе говоря – C_i это слова $w_j \in T$ из s -окрестности слова $w_i \in T$.

4. Выполняем унитарное кодирование (one-hot encoding) словаря W , т.е. каждому слову $w_i \in W$ ставится в соответствие вектор $u_i \in U$ из нулей и одной единицы, длина вектора u_i равна размеру словаря W , позиция единицы в векторе u_i соответствует номеру слова в словаре W .

5. Заменяем слова в тексте T и контекстах C соответствующими кодами P и Q из U .

Таким образом, получаем два множества – кодированный текст P и наборы кодированных слов контекста Q .

Чтобы хорошо сгенерировать векторы слов, мы используем модель Skip-gram, потому что она обладает лучшей способностью к обучению, чем CBOW, если не учитывать скорость вычислений [6].

На вход модели skip-граммы подается одно слово w_i , а на выходе мы получаем слова w_i в контексте $\{w_{o,1}, \dots, w_{o,c}\}$, определяемом размером окна слов. После обучения каждому слову соответствует вектор. Наконец, строится матрица большого размера. Каждая строка в матрице представляет каждый пример обучения, а столбцы – сгенерированные векторы слов. Как следствие, слово имеет несколько степеней подобия. Чтобы проверить сходство слов, рассмотрим несколько примеров в табл. 1, в ней приведены два наиболее похожих слова и их косинусные расстояния. Например, с учетом слова «computer» мы получаем два похожих слова «evaluation» и «algorithm» с их расстояниями до «computer». Результаты показывают, что Word2Vec успешно находит семантически связанные слова.

Кластеризация слов

Необходимо найти центры каждого кластера слов. В настоящее время некоторые алгоритмы кластеризации могут выполнять эту работу [11]. Учитывая простоту, применяем алгоритм кластеризации K-means. Кластеризация K-means – это метод векторного квантования [12], который разбивает N элементов на K кластеров, минимизируя общую ошибку. Мерой расстояния в данном алгоритме является евклидово расстояние [13]. Единственным параметром, который нужно

установить, является количество кластеров K . В табл. 2 показано несколько примеров того, что содержат 4 кластера при K равном 500. Мы можем найти похожие слова, которые почти правильно кластеризованы.

Многоклассовая классификация

Чтобы оценить производительность модели [14], данные вписываются в многоклассовую классификационную задачу. Во-первых, преобразуем многоклассовую

классификацию в несколько двоичных классификаций. Для этого применяется метод One-vs-Rest [13], на выходе которого можно получить единичный классификатор для каждого класса. Экземпляр одного класса рассматривается как положительный класс; Другие считаются отрицательными. Затем применяется LinearSVC (Linear Support Vector Classifier), на вход которой подаются результаты всех единичных классификаторов, а на выходе определенная моделью класс.

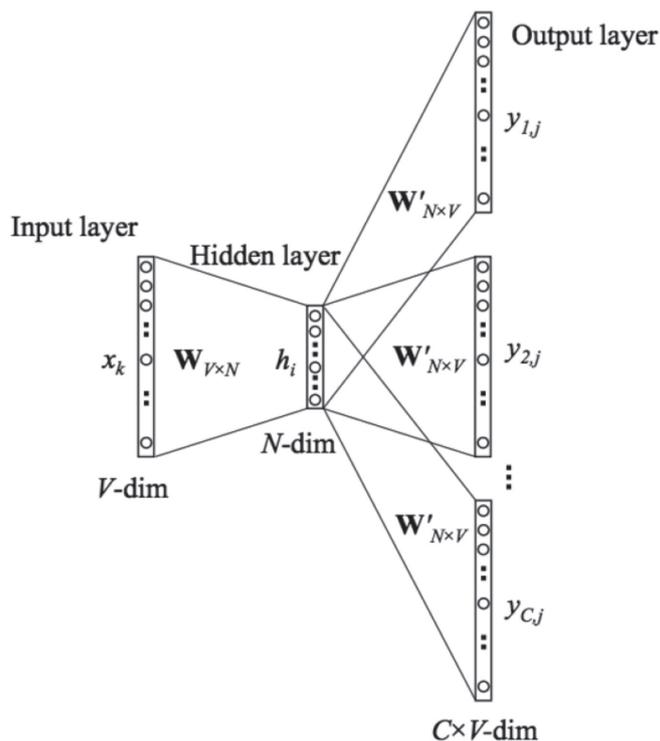


Диаграмма модели Skip-gram

Таблица 1

Сходство слов

Слова	Сходство слов			
	1-е слово	Косинусное расстояние	2-е слово	Косинусное расстояние
computer	evaluation	0,9325	algorithm	0,9292
president	property	0,9306	population	0,9123
american	Churches	0,9438	Greece	0,9365

Таблица 2

Содержание кластеров

Номер кластера	Содержимое кластера
1	u'my', u'has', u'is', u'in', u'the', u'had', u'for'...
2	u'components', u'speed', u'trigger', u'applications', u'stage', u'developers', u'manufacturers'...
3	u'Medical, u'cigarettes', u'usma', u'smoked', u'food', u'Laboratory', u'chewing'...
4	u'population', u'federal', u'laws', u'treasure', u'crime, u'organizations', u'Pope'...

Производительность классификации

Размер данных	Производительность классификации	
	F1-Micro	Время (s)
11,314 * 61,189	0,7524	5 * 10 ³
11,314 * 2000	0,774	8 * 10 ²
11,314 * 1500	0,7619	6 * 10 ²
11,314 * 1000	0,753	4 * 10 ²
11,314 * 500	0,7506	3 * 10 ²

Производительность

Чтобы оценить эффективность классификации, вычисляется показатель F1-micro [15] и фиксируется время работы. В табл. 3 показана эффективность классификации для наборов данных с уменьшением размеров. В первой строке показано значение F1-micro и время, затрачиваемое без применения Word2Vec и алгоритма кластеризации. Остальные строки представляют производительность классификации данных с уменьшением размеров. Из полученных данных очевидно, что чем исходный набор данных больше, тем результаты лучше.

Выводы

В работе рассмотрен пример применения Word2Vec к обработке больших данных. Вначале обучающие данные подаются на вход в Word2Vec для генерации векторов слов. Для каждого слова рассчитывается вектор, с помощью которого находятся семантически связанные слова. Далее подобные слова группируются, используя алгоритм кластеризации K-means. Задавая значение K, определяется количество кластеров. Был проведен ряд экспериментов с целью определения эффективности предложенной модели. Исходя из результатов проведенных экспериментов, можно судить о достаточно высокой производительности данной модели. Также из экспериментов видно, что чем больше объем исходных данных, тем точность алгоритма выше.

Список литературы

1. Mayer-Schönberger V. Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think / V. Mayer-Schönberger, K. Cukier. – Houghton Mifflin Harcourt, 2013. – 242 p.

2. Аксютин Е.М., Белов Ю.С., Обзор архитектур и методов машинного обучения для анализа больших данных // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 1 (5). – С. 134–141.

3. Аксютин Е.М., Белов Ю.С. Анализ оптимизированного алгоритма выравнивания биологических последовательностей // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 2 (12). – С. 100–106.

4. Васильчикова А.В., Ткаченко А.В., Гришунов С.С. Обзор классов нереляционных баз данных // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2016. – № 4 (9). – С. 81–85.

5. Нифонтов С.В., Белов Ю.С. Применение вейвлет-анализа и нейронных сетей в системах распознавания дикторов // Информационные технологии в науке нового времени: сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 41–45.

6. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // Proc. Workshop at ICLR. – 2013.

7. Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G., Dean J., Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality // Proc. NIPS. – 2013.

8. Mikolov T., Yih W., Zweig G., Linguistic Regularities in Continuous Space Word Representations // Proc. NAACL HLT. – 2013.

9. Wu J. Advances in K-means Clustering: A Data Mining Thinking (Springer Theses: Recognizing Outstanding Ph.D. Research) / J. Wu. – Springer. – 2012. – 180 p.

10. Lang K., 20 newsgroup data set [Электронный ресурс]. – URL: <http://qwone.com/~jason/20Newsgroups/> (дата обращения: 17.10.17).

11. Гришанов К.М., Белов Ю.С. Метод классификации k – nn и его применение в распознавании символов // Фундаментальные проблемы науки: сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 30–33.

12. Allen G. Vector quantization and signal compression / G. Allen, R.M. Gray. – Springer Science & Business Media. – 2012. – vol. 159. – 732 p.

13. Pedregosa F. Scikit-learn: Machine Learning in Python // JMLR 12. – 2011. – P. 2825–2830.

14. Long Ma, Yanqing Zhang. Using Word2Vec to process big text data // Big Data (Big Data), IEEE International Conference. – 2015.

15. Sebastiani F. Machine learning in automated text categorization // ACM Computing Surveys. – 2002. – № 34 (1). – P. 1–47.

УДК 629.05:681.13

ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА ПО ИНФОРМАЦИИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Щипицын А.Г.

Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, e-mail: ags477893@mail.ru

Рассмотрена задача определения начальной ориентации стартующего с Земли объекта по информации, установленной на этом объекте бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Использована априорная информация о векторе абсолютной угловой скорости Земли и векторе гравитационного ускорения начала связанной с объектом системы координат, а также использована информация, получаемая с трёх взаимно ортогональных датчиков угловой скорости и трёх взаимно ортогональных акселерометров. Применён подход использования двенадцати алгебраических уравнений относительно направляющих косинусов, шесть из которых выражают скалярный эквивалент условий векторного согласования измерительной и априорной информации, три – условия масштаба и ещё три – условия ортогональности для систем координат. Выполнены математические описания, составлены алгоритмы и разработаны программы определения направляющих косинусов от земной к объектной системе координат и имитационной модели этой процедуры с целью программного обеспечения бортового компьютера бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

Ключевые слова: стартующий с Земли объект, бесплатформенная инерциальная навигационная система, датчик угловой скорости, акселерометр, направляющие косинусы, математическое описание, алгоритм, программа, имитационная модель

PROCEDURE OF DETERMINATION OF INITIAL ORIENTATION OF OBJECT ON INFORMATION OF STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

Shchipitsyn A.G.

National research South-Ural state University, Chelyabinsk, e-mail: ags477893@mail.ru

The task of determination of initial orientation of starting from Earth object is considered on information set on this object of the strapdown inertial navigation system. A priori information is used about the vector of absolute angular velocity of Earth and vector of gravitational acceleration of beginning of the system of coordinates related to the object, and also the information got from three mutually orthogonal sensors of angular velocity and three mutually orthogonal of linear accelerations is used. Approach of the use of twelve algebraic equalizations of relatively directing cosines is applied, six from that express the scalar equivalent of terms of vectorial concordance of measuring and a priori information, three are terms of scale and three are terms of perpendicularity for the systems of coordinates. Mathematical descriptions are executed, algorithms are made and the programs of determination of directing cosines are worked out from earthy to the objective system of coordinates and simulation model of this procedure with the purpose of airborne computer of the strapdown inertial navigation system software.

Keywords: starting from Earth object, strapdown inertial navigation system, sensor of angular velocity, accelerometer, directing cosines, mathematical description, algorithm, program, simulation model

Указанная в заголовке статьи процедура в другой терминологии называется начальной выставкой навигационной системы [1, 2]. От точности начальной выставки системы зависит точность переменных навигационной информации объекта, так как процедурой начальной выставки определяются начальные условия, необходимые при интегрировании системы дифференциальных уравнений относительно таких переменных ориентации объекта, как направляющие косинусы от земной системы координат к объектной системе координат. Указанные начальные условия – это информация, которую необходимо иметь в бортовом компьютере до навигации объекта и которая может быть определена с использованием внешних по отношению к объекту источников информации, например с использованием информации с наземной навигационной системы,

если она точнее системы, установленной на борту объекта. В данной работе, в отличие от задач, рассмотренных в работах [3–6], поставлена задача определения начальной ориентации объекта относительно Земли на основе информации бесплатформенной инерциальной навигационной системы этого же объекта, предполагая, что её точность является допустимой для начальных условий интегрирования указанной выше системы дифференциальных уравнений.

Постановка задачи

Объект, с которым связана система координат $O_Y Y_1 Y_2 Y_3$ (сокращённо: СК Y), находится на Земле, с которой связана система координат $O_Z Z_1 Z_2 Z_3$ (сокращённо: СК Z), начало которой находится на поверхности Земли, ось $O_Z Z_1$ направлена на восток, ось $O_Z Z_2$ – на север, ось $O_Z Z_3$ – по вертикали от

центра сферической Земли с радиусом R и имеющей только собственное вращение с абсолютной постоянной угловой скоростью, величина которой равна u , а вектор направлен по оси вращения SN в сторону Северного полюса N . Гравитационное поле Земли полагаем сферическим с постоянным гравитационным ускорением, величина которого равна g в объеме объекта, а его вектор \vec{g} направлен к центру Земли. Начало O_Z СКЗ находится на широте, определяемой углом φ .

Задача заключается в определении направляющих косинусов (НК) от СКЗ к СКУ вида

$$C_{ij} = \vec{Z}_i \vec{Y}_j, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

на основе имеющейся априорной информации о величинах u , R , g , φ и на основе измеряемой бесплатформенной инерциальной навигационной системой (БИНС) информации о трёх проекциях Ω_j вектора $\vec{\Omega}$ абсолютной угловой объекта и трёх проекциях A_j вектора \vec{A} кажущегося ускорения точки O_Y объекта, которую полагаем при рассматриваемой процедуре совпадающей с точкой O_Z ; \vec{Z}_i, \vec{Y}_j – орты соответственно осей координат Z_i, Y_j . Кроме определения величин (1), необходимо указать условия существования и единственности решений поставленной задачи.

Математическое описание определения направляющих косинусов

Основой для решения поставленной задачи являются два векторных уравнения

$$\vec{\Omega} = \vec{u}, \quad \vec{A} = \vec{a}, \quad (2)$$

где \vec{a} – вектор кажущегося ускорения точки O_Z , определяемый зависимостью

$$\vec{a} = -(u^2 R + g) \vec{Z}_3, \quad (3)$$

где слагаемым $u^2 R$ определено центробежное ускорение точки O_Z , вектор которого направлен противоположно орту \vec{Z}_3 . Согласно постановке задачи, векторы \vec{u} , \vec{a} определены проекциями в СКЗ:

$$\begin{aligned} u_1 = 0, \quad u_2 = u \cos \varphi, \quad u_3 = u \sin \varphi; \\ a_1 = 0, \quad a_2 = 0, \quad a_3 = -(u^2 R + g). \end{aligned} \quad (4)$$

Так как информация о векторах $\vec{\Omega}$, \vec{A} поступает с БИНС, то эти векторы следует определить проекциями в СКУ:

$$\vec{\Omega} = \sum_{j=1}^3 \Omega_j \vec{Y}_j, \quad \vec{A} = \sum_{j=1}^3 A_j \vec{Y}_j. \quad (5)$$

Подставляя зависимости (5) в уравнение (3), умножая полученные равенства ска-

лярно на орты \vec{Z}_i и используя обозначения (1), получаем две системы уравнений относительно НК C_{ij} по три уравнения в каждой:

$$\sum_{j=1}^3 \Omega_j C_{ij} = u_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^3 A_j C_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (7)$$

Из равенств (1) следуют зависимости между ортами:

$$\vec{Z}_i = \sum_{j=1}^3 C_{ij} \vec{Y}_j, \quad i = 1, 2, 3. \quad (8)$$

Умножая эти векторные равенства скалярно на орты \vec{Z}_k и используя обозначения (1), получаем ещё две системы уравнений относительно НК C_{ij} по три уравнения в каждой, выражающие соответственно условия масштаба и ортогональности для НК:

$$\sum_{j=1}^3 (C_{ij})^2 = 1, \quad i = 1, 2, 3, \quad (9)$$

$$C_{11} C_{21} + C_{12} C_{22} + C_{13} C_{23} = 0,$$

$$C_{11} C_{31} + C_{12} C_{32} + C_{13} C_{33} = 0,$$

$$C_{21} C_{31} + C_{22} C_{32} + C_{23} C_{33} = 0. \quad (10)$$

Из системы (6) найдём

$$C_{i3} = (1/\Omega_3) \left(u_i - \sum_{j=1}^2 \Omega_j C_{ij} \right), \quad i = 1, 2, 3. \quad (11)$$

Подставив выражения (11) в уравнения (7), получим систему

$$\sum_{j=1}^2 P_j C_{ij} = Q_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (12)$$

где введены обозначения

$$P_j = A_j - A_3 \Omega_j / \Omega_3, \quad j = 1, 2;$$

$$Q_i = a_i - A_3 u_i / \Omega_3, \quad i = 1, 2, 3. \quad (13)$$

Из системы (12) найдём

$$C_{i2} = \rho_i - \rho_0 C_{i1}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (14)$$

Подставив выражения (14) в зависимости (11), после несложных преобразований получим

$$C_{i3} = \eta_i + \eta_0 C_{i1}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (15)$$

где введены обозначения

$$\rho_0 = P_1/P_2, \quad \rho_i = Q_i/P_2, \quad \eta_0 = [\Omega_2(P_1/P_2) - \Omega_1]/\Omega_3,$$

$$\eta_i = [u_i - (\Omega_2 Q_i/P_2)]/\Omega_3, \quad i = 1, 2, 3. \quad (16)$$

Подставив выражения (14), (15) в уравнения (9), получим три квадратных уравнения относительно НК C_{i1} , $i = 1, 2, 3$:

$$X_i^2 - 2P_{0i}X_i + Q_{0i} = 0, i = 1, 2, 3. \quad (17)$$

где обозначены неизвестные и коэффициенты этих уравнений:

$$X_i = C_{i1}, P_{0i} = (\rho_0\rho_1 - \eta_0\eta_i)/(1 + \rho_0^2 + \eta_0^2), Q_{0i} = (\rho_i^2 + \eta_i^2 - 1)/(1 + \rho_0^2 + \eta_0^2), i = 1, 2, 3. \quad (18)$$

Решая уравнения (17), получаем

$$X_i^{(1)} = P_{0i} + \sqrt{D_{0i}},$$

$$X_i^{(2)} = P_{0i} - \sqrt{D_{0i}}, i = 1, 2, 3. \quad (19)$$

где введены обозначения:

$$D_{0i} = P_{0i}^2 - Q_{0i}, i = 1, 2, 3. \quad (20)$$

Анализируя проделанные выкладки, можно указать на условия существования решения:

$$\Omega_3 \neq 0, P_2 \neq 0$$

или с учётом выражения (13)

$$A_2 - A_3\Omega_2/\Omega_3 \neq 0,$$

$$D_{0i} = P_{0i}^2 - Q_{0i} > 0, i = 1, 2, 3. \quad (21)$$

Можно показать, что условия (21) выполняются, если векторы \vec{u} , \vec{a} ненулевые и неколлинеарны. То, что они ненулевые, очевидно. А требование их неколлинеарности означает, что рассматриваемая процедура начальной выставки не может быть реализована на полюсах Земли. Неоднозначность решения обусловлена наличием двух корней (20) уравнения (17), а единственность решения достигается проверкой выполнения условий ортогональности (10) для НК C_{ij} для каждого из корней. Для этого найдём все НК, используя решения (20) и выражения (14), (15):

$$C_{i1}^{(k)} = X_i^{(k)}, C_{i2}^{(k)} = \rho_i - \rho_0 X_i^{(k)},$$

$$C_{i3}^{(k)} = \eta_i + \eta_0 X_i^{(k)}, i = 1, 2, 3; k = 1, 2. \quad (22)$$

Подставляя найденные решения (22) в уравнения (10) при $k = 1, 2$, находим тот индекс k , при котором эти уравнения обращаются в тождества, тем самым решаем вопрос о единственности решений.

Математическое описание имитационной модели начальной выставки

Выполненное выше математическое описание определения НК от земной СК к объектной СК основано на использовании измерений величин проекций $\Omega_j, A_j, j = 1, 2, 3$ датчиками БИНС объекта. Однако до

использования БИНС следует иметь вычислительный алгоритм определения НК, который можно было бы установить в бортовой компьютер с гарантией, что этот алгоритм будет достоверно и достаточно точно вычислять требуемые НК на основе заданной априорной информации о величинах u, φ, R, g и указанной измеряемой информации $\Omega_j, A_j, j = 1, 2, 3$. Для обеспечения указанной гарантии достоверности и точности вычислений НК в бортовом компьютере необходимо построить имитационную модель измерений $\Omega_j, A_j, j = 1, 2, 3$ на основе заданной ориентации объекта относительно Земли.

Для построения указанной имитационной модели введём углы поворотов СКУ относительно СКЗ q_1, q_2, q_3 в последовательности 1-2-3, то есть поворот на угол q_1 выполнен вокруг оси Z_1 , поворот на угол q_2 выполнен вокруг второй оси СК, получившейся после первого, поворот на угол q_3 выполнен вокруг третьей оси СК, получившейся после второго поворота. Можно показать, что компоненты матриц НК, соответствующих отдельным указанным выше поворотам, имеют вид

$$S_{11}^{01} = 1, S_{12}^{01} = 0, S_{13}^{01} = 0, S_{21}^{01} = 0,$$

$$S_{22}^{01} = \cos q_1, S_{23}^{01} = -\sin q_1, S_{31}^{01} = 0,$$

$$S_{32}^{01} = \sin q_1, S_{33}^{01} = \cos q_1; \quad (23)$$

$$S_{11}^{12} = \cos q_2, S_{12}^{12} = 0, S_{13}^{12} = \sin q_2, S_{21}^{12} = 0,$$

$$S_{22}^{12} = 1, S_{23}^{12} = 0, S_{31}^{12} = -\sin q_2, S_{32}^{12} = 0,$$

$$S_{33}^{12} = \cos q_2; \quad (24)$$

$$S_{11}^{23} = \cos q_3, S_{12}^{23} = -\sin q_3, S_{13}^{23} = 0,$$

$$S_{21}^{23} = \sin q_3, S_{22}^{23} = \cos q_3, S_{23}^{23} = 0, S_{31}^{23} = 0,$$

$$S_{32}^{23} = 0, S_{33}^{23} = 1. \quad (25)$$

Используя эти компоненты, найдём компоненты матрицы НК от СКЗ к СКУ:

$$S_{ij} = \sum_{k=1n=1}^3 \sum_{l=1}^3 S_{ik}^{01} S_{kn}^{12} S_{nj}^{23}, i, j = 1, 2, 3. \quad (26)$$

Далее определяем выражения для имитационных моделей измерений:

$$\Omega_j = \sum_{i=1}^3 S_{ij} u_i, A_j = \sum_{i=1}^3 S_{ij} a_i, j = 1, 2, 3, \quad (27)$$

где проекции u_i, a_i определяются формулами (4). Используя величины (27) в описанной выше процедуре определения НК C_{ij} и опре-

делив их, далее сравниваем полученные НК C_{ij} с НК S_{ij} , вычисляя модули разностей вида

$$\Delta C_{ij} = |C_{ij} - S_{ij}|, i, j = 1, 2, 3. \quad (28)$$

Заметим, что величины (28) можно рассматривать в качестве относительных погрешностей определяемых НК, так как наибольшая величина каждого НК не превышает единицы. А поэтому в качестве результирующей относительной погрешности всех девяти НК может быть принята величина

$$\Delta C = \left(\frac{1}{9}\right) \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \Delta C_{ij}, \quad (29)$$

которая может быть принята за меру вычислительной погрешности при определении НК и которая должна быть не больше заданной допустимой относительной погрешности ΔC^* определения НК, то есть должна удовлетворять неравенству

$$\Delta C \leq \Delta C^*. \quad (30)$$

Алгоритм имитационной модели определения направляющих косинусов

Выполненные выше математические описания позволяют сформулировать последовательность операций ввода исходной информации, вычислений и вывода результатов:

1. Задать:
 - u – модуль вектора абсолютной угловой скорости Земли;
 - g – модуль вектора гравитационного ускорения начала СКУ;
 - R – радиус сферической Земли;
 - φ – широта начала СКУ;
 - $q_k, k = 1, 2, 3$ – углы ориентации СКУ относительно СКЗ;
 - ΔC^* – допустимая относительная погрешность определения НК.
2. Вычислить u_p, a_i по формулам (4) и вычислить S_{ij} по формулам (23)–(26).
3. Вычислить Ω_j, A_j по формулам (27).
4. Вычислить P_j^i, Q_i по формулам (13).
5. Вычислить ρ_0, η_0, η_i по формулам (16).
6. Вычислить P_{0i}^i, Q_{0i} по формулам (18).
7. Вычислить D_{0i} по формулам (20).
8. Если $\Omega_3 = 0$ или $P_2 = 0$ или $D_{0i} < 0$, то вывести сообщение: «Не выполняется условие существования решения» и закончить алгоритм.
9. Вычислить $X_i^{(k)}$ по формулам (19).
10. Вычислить $C_{i1}^{(k)}, C_{i2}^{(k)}, C_{i3}^{(k)}$ по формулам (22).
11. Определить единственность решений подстановкой величин $C_{i1}^{(k)}, C_{i2}^{(k)}, C_{i3}^{(k)}$ в уравнения (10) при $k = 1, 2$ и определения индекса k , при котором эти уравнения обра-

щаются в тождества; в результате этой операции определить НК C_{ij} .

12. Вычислить ΔC_{ij} по формулам (28).
13. Вычислить ΔC по формуле (29).
14. Проверить выполнение неравенства (30), и если оно не выполняется, то вывести сообщение: «Относительная погрешность вычисления НК C_{ij} превышает допустимую» и закончить алгоритм.
15. Если алгоритм игнорирует пункты 8 и 14, то вывести величины C_{ij} с сообщением: «Задача определения НК решена».

Исследование работы алгоритма имитационной модели заключается в анализе причин невыполнения условий существования решений (пункт 8) и неудовлетворения вычисленных НК допустимой относительной погрешности (пункт 14) для конкретных численных значений исходных данных. После выяснения этих причин и удаления из приведённого выше алгоритма пунктов 8 и 14 можно зафиксировать алгоритм определения НК для бортового компьютера БИНС, который будет включать в себя вычислительные операции пунктов с 3-го по 11-й, при замене пункта 3 формулировкой: «Измерить сигналы Ω_j датчиков угловой скорости и сигналы A_j акселерометров БИНС».

О программе имитационной модели определения направляющих косинусов

На основе сформулированного выше алгоритма имитационной модели определения НК разработана программа, на вход которой подаётся исходная информация согласно пункту 0 алгоритма, а выходом которой являются вычисленные ГК, величина результирующей относительной погрешности вычисления НК, а также такие промежуточные результаты, как информация об удовлетворении условий существования решений, номер индекса k , при котором эти решения являются единственными. Разработанная программа имитационной модели определения направляющих косинусов позволяет анализировать влияние априорной информации о характеристиках местности (u, g, R, φ) и исходной ориентации объекта относительно Земли (q_1, q_2, q_3) на условия существования и единственности решений. Разработанная программа определения направляющих косинусов с учётом замечаний, сделанных после сформулированного алгоритма, и являющаяся частью указанной выше программы может быть использована для инсталляции её в бортовой компьютер БИНС.

Выводы

1. Для выполнения математического описания применён подход использова-

ния двенадцати алгебраических уравнений относительно направляющих косинусов, шесть из которых выражают скалярный эквивалент условий векторного согласования измерительной и априорной информации, три – условия масштаба и ещё три – условия ортогональности для систем координат.

2. Составлен алгоритм и разработана программа имитационной модели определения направляющих косинусов, которая может быть использована для программного обеспечения процедуры начальной выставки в бортовом компьютере бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

Заключение

Применённый подход к выполнению математического описания может быть распространён на случай начальной выставки бесплатформенной инерциальной навигационной системы подвижного объекта, находящегося на борту подвижного носителя, на основе информации его навигационной системы.

Список литературы

1. Липтон А. Выставка инерциальных систем на подвижном основании. – М.: Наука, 1971. – 168 с.
2. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.
3. Щипицын А.Г. К задаче определения начальной ориентации объекта бесплатформенной инерциальной навигационной системой / А.Г. Щипицын, М.А. Щипицына, С.В. Слепова // XXV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 60-летию Победы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – С. 266–268.
4. Щипицына М.А. Математическая модель синтеза точности определения параметров начальной ориентации объекта бесплатформенной инерциальной навигационной системой // Сб. рефератов научно-исследовательских работ студентов по конкурсу грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 152–153.
5. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Математическая модель для задачи определения параметров начальной ориентации объекта бесплатформенной инерциальной навигационной системой // Труды XXVI Российской школы по проблемам науки и технологий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С. 241–243.
6. Щипицына М.А., Устюгов М.Н. Математическая модель для задачи синтеза точности начальной выставки бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Сб. научн. тр. «Информационные системы и устройства». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 102–108.