

ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ЭТАПЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Козырев Денис Борисович

Заместитель начальника научно-исследовательского отдела,

Федеральное государственное унитарное предприятие

«Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»,

127055 г. Москва, ул. Сущевская 22, e-mail: Kozirev@vniia.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос использования конструкторской информации при разработке управляющих программ для станков с числовым программным управлением. Представлены схемы стандартного использования конструкторской 3D-модели и чертежа в системе сквозного проектирования, изложены требования к электронной конструкторской документации. Рассмотрены особенности практического создания и использования 3D-моделей.

Ключевые слова: система сквозного проектирования, электронный документ, 3D-модель, технологическая модель, числовое программное управление.

Цитирование: Козырев Д.Б. Особенности практического использования информации в системе сквозного проектирования на этапе технологической подготовки производства // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 122–130. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-10

Введение. Создание и развитие систем сквозного проектирования (ССП) на машиностроительных и приборостроительных предприятиях позволит сократить сроки выпуска новой продукции. ССП позволяют объединить этапы конструкторской и технологической подготовки производства в едином информационном пространстве и избавиться от лишних преобразований информации при переходе от одного этапа к следующему. В ССП гармоничным образом создается цифровой двойник изделия, который размывает границы перехода от конструирования изделия к разработке технологии его изготовления. На последующих этапах жизненного цикла изделия цифровой двойник может наполняться дополнительной информацией и выполнять расширенные функции.

1. Информация и электронные документы. В настоящее время разработка изделий ведется в электронной форме в среде системы управления базой данных об изделии. Использование современных средств автоматизации имеет целый ряд методологических проблем: «вопрос внедрения информационных систем управления инженерными данными и выработки принципов и методов управления процессом разработки конструкторских документов является таким же фундаментальным, каким в свое время стал вопрос разработки ЕСКД для бумажных документов» [1]. Информация создается в виде, пригодном для автоматизированного использования – в виде трехмерных геометрических моделей (3D-моделей) деталей и сборочных единиц. Также в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД) создаются плоские чертежи. Так как система учета и обращения информации строится на основе опыта использования бумажных

документов, то «используется один из самых востребованных у пользователей способов хранения данных – каждый файл является документом PDM-системы» [10]. Поэтому 3D-модели и соответствующие им чертежи являются полноценными электронными документами. Более подробно вопросы создания электронной конструкторской документации при комплексном использовании системы автоматизированного проектирования (САПР), системы управления данными об изделии (PDM-система) и системы управления жизненным циклом изделий (PLM-система) рассмотрены в работах [2, 9].

Для сокращения сроков разработки изделий в ССП необходимо реализовать принцип однократного ввода информации – информация создается в системе один раз. Применительно к стадии перехода от этапа конструкторского проектирования к технологическому проектированию это значит, что информация, созданная конструктором, должна использоваться технологом, а не создаваться им заново. Рассмотрим данный тезис более подробно на примере использования конструкторской 3D-модели детали при создании управляющих программ (УП) для изготовления деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

2. Использование конструкторской информации при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ. Рассмотрим сначала «классическую» схему использования конструкторской информации, как правило, функционирующую на большинстве отечественных предприятий оружейно-промышленного комплекса. Схема представлена на рисунке 1.

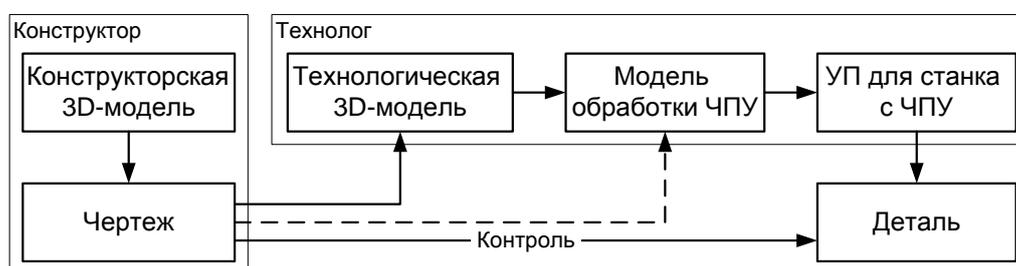


Рис. 1. «Классическая» схема информационных потоков

Конструктор создает конструкторскую 3D-модель детали в процессе проектирования изделия. Затем конструктор на основе геометрии и, возможно, элементов оформления и аннотирования 3D-модели создает чертеж детали. Чертеж проходит этап согласования и утверждения и сдается в архив предприятия. Как правило, подлинники документов выполняют в бумажной форме, но уже существуют предприятия, создающие подлинники в электронной форме.

Технолог или программист станков с ЧПУ, получив чертеж в бумажной форме или, что бывает реже, в электронной форме, строит собственную технологическую 3D-модель. Создание технологической 3D-модели является обязательным шагом при разработке УП. По сравнению с конструкторской 3D-моделью технологическая имеет ряд отличий. Геометрия 3D-модели построена по средним полям допусков размеров, а не по номинальным значениям размеров. Это позволит технологу разработать УП без использования корректоров, учитывающих допуски на размеры. В технологической 3D-модели могут отсутствовать некоторые геометрические элементы, не обрабатываемые на данной операции, и могут быть

построены дополнительные геометрические элементы для закрепления детали на станке для выполнения данной операции.

На основе технологической 3D-модели в системе автоматизированного проектирования обработки (САМ) проектируется модель обработки ЧПУ – «технологическая документация, которую можно непосредственно использовать для управления оборудованием с ЧПУ» [5]. В ней создается модель заготовки, выбирается режущий инструмент, задаются траектория движения инструмента, режимы резания и другие параметры обработки. При проектировании модели обработки ЧПУ дополнительно используется чертеж (штриховая линия на рисунке 1), как носитель информации, которая может отсутствовать в технологической 3D-модели: предельные отклонения размеров, чистота поверхности, отклонения формы и расположения поверхностей, технические требования. Данная информация учитывается технологом, но непосредственно в САМ не обрабатывается. Далее в САМ с помощью постпроцессора формируется УП для выбранного станка с ЧПУ. После изготовления деталь проверяется в отделе технического контроля на соответствие требованиям чертежа: «чертеж в бумажной форме по-прежнему является главным производственным документом» [8].

В ССП схема использования конструкторской информации значительно отличается от рассмотренной «классической» схемы. Схема информационных потоков в ССП представлена на рисунке 2.

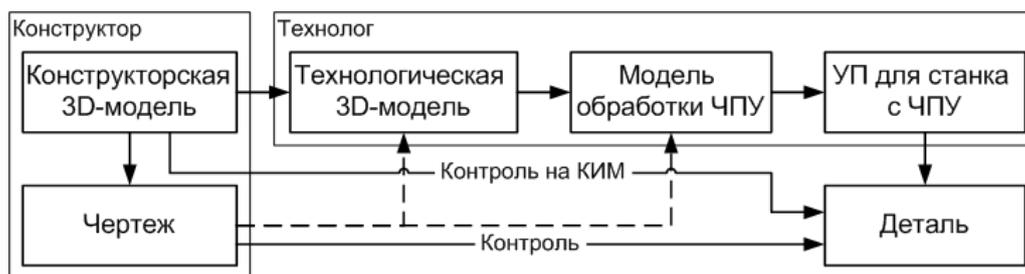


Рис. 2. Схема информационных потоков в ССП

Конструктор создает конструкторскую 3D-модель детали в процессе проектирования изделия. Затем конструктор на основе геометрии и элементов оформления и аннотирования 3D-модели создает ассоциативный чертеж детали. Ассоциативность чертежа означает, что при любом изменении в 3D-модели производится аналогичное изменение в чертеже. В ССП чертеж является иллюстрацией информации, содержащейся в 3D-модели, но только в виде привычного отображения на плоскости. Конструкторская 3D-модель и чертеж проходят этап согласования и утверждения и сдаются в архив предприятия. В данном случае желательно подлинники документов выполнять в электронной форме. «ДЭ [электронные документы] выполняют на стадии разработки изделия и применяют на всех последующих стадиях жизненного цикла изделия» [6].

Технолог или программист станков с ЧПУ получает доступ к конструкторской 3D-модели и чертежу детали. Как и в «классической» схеме, технолог должен построить технологическую 3D-модель, имеющую свои особенности. В ССП технологическая 3D-модель строится непосредственно на основе конструкторской 3D-модели. Для этого во многих САПР предусмотрена команда создания зависимой копии 3D-модели с односторонней ассоциативной связью. Таким образом, создается технологическая 3D-

модель, которая содержит всю информацию, имеющуюся в конструкторской модели, и в то же время отличается от конструкторской модели перестроением геометрии по средним полям допусков и доработкой геометрии в части добавления или удаления геометрических элементов. Представленный вариант создания технологической 3D-модели подтверждает следующий тезис: «борьба с ручным вводом информации в ЭВМ является одной из главных отличительных черт комплексной автоматизации вообще и САПР в особенности» [5]. При создании технологической 3D-модели чертеж может использоваться как источник представления информации в привычном плоском виде.

Далее технолог создает модель обработки ЧПУ и УП для станка с ЧПУ аналогично ранее рассмотренной схеме. После изготовления деталь проверяется в отделе технического контроля на соответствие требованиям конструкторской документации. В случае ручной проверки детали используется информация из чертежа. При наличии координатно-измерительной машины (КИМ) и соответствующего программного обеспечения возможна автоматизированная проверка детали. Информация для автоматизированной проверки загружается из конструкторской 3D-модели. В случае отсутствия возможности загрузки информации из конструкторской 3D-модели в КИМ используется чертеж детали для ручного переноса информации в КИМ.

3. Конструкторская 3D-модель в системе сквозного проектирования.

Конструкторская 3D-модель в ССП является главным источником информации при переходе к этапу технологической подготовки производства. «В промышленном производстве важно понять, как перейти от проектирования к подготовке производства и слить эти процессы воедино, чтобы они учитывали потребности друг друга» [4]. Важно создать электронную модель изделия так, чтобы она правильно и всесторонне отражала замысел автора и содержала максимальное количество необходимой информации. Эта информация будет использоваться при создании ассоциативных чертежей, которые будут являться всего лишь иллюстрацией модели на плоскости. Такие чертежи нужны только человеку для привычного восприятия информации, в то время как для работы с современным оборудованием с ЧПУ и программным обеспечением необходима именно 3D-модель.

Непосредственно использовать конструкторскую 3D-модель в качестве технологической 3D-модели невозможно. Это ограничение накладывается как техническими причинами, так и организационными. С технической стороны технологю потребуются внести изменения в конструкторскую 3D-модель. С организационной стороны – конструкторская 3D-модель является электронным конструкторским документом и может быть изменена только конструктором в соответствии с определенными процедурами. Поэтому создается технологическая 3D-модель на основе исходной конструкторской 3D-модели, в которую вносят необходимые изменения. Следовательно, конструкторская 3D-модель должна отвечать определенным требованиям, чтобы ее можно было использовать в качестве исходной модели при создании технологической модели. В [4] говорится, что требования к моделям зависят от технологии. Рассмотрим требования, с учетом технологии изготовления детали на станке с ЧПУ, к совокупности электронных документов на деталь – к 3D-модели и чертежу, так как они используются совместно.

Одинаковые размерные схемы в 3D-модели и на чертеже. Это требование необходимо для того, чтобы геометрия модели, перестроенная по средним полям допусков размеров, не выходила за допуски размеров, указанных на чертеже. Требование выполняется

за счет грамотного планирования топологии 3D-модели и выбора баз при построении геометрических элементов 3D-модели. В чертеж размеры должны переноситься из 3D-модели, проставлять размеры вручную не рекомендуется.

Одинаковые значения размеров и предельных отклонений в 3D-модели и чертеже.

Это требование очевидно, но его выполнение требует задания предельных отклонений размеров в 3D-модели. Для обеспечения соответствия значений в 3D-модели и чертеже размеры должны переноситься из 3D-модели в чертеж, не рекомендуется проставлять размеры вручную, а тем более использовать специальные команды, позволяющие изменить значение размера без соответствующего перестроения геометрии.

3D-модель должна перестраиваться без ошибок по средним полям допусков размеров. Ошибки могут быть двух видов: 1) САПР не может перестроить 3D-модель и выдает ошибку, например, вырождается какой-либо геометрический элемент или невозможно построить контур; 2) появляется логическая ошибка, например, скругление перестает быть касательным к грани. Появление этих ошибок предотвращается использованием максимального числа геометрических ограничений и минимально допустимого количества размеров при построении 3D-модели.

Выделить на модели размеры с высокой точностью. Это позволит технологу сразу обратить внимание на такие размеры и соответствующим образом построить технологический процесс изготовления детали. Требование выполняется созданием аннотаций для таких размеров в 3D-модели.

Наличие реквизитов в 3D-модели и чертеже: обозначение, номер изменения. Необходимо для идентификации актуальности документов, для связи модели обработки ЧПУ с 3D-моделью. Решается использованием PDM-системы для управления электронными документами.

4. Особенности практического использования. Для непосредственного использования конструкторской информации, представленной в виде 3D-модели, при разработке УП для станков с ЧПУ она должна отвечать перечисленным выше требованиям. На практике до технолога не всегда доходит 3D-модель, соответствующая требованиям.

Во-первых, конструкторы не всегда могут спланировать и построить сразу правильную 3D-модель. Это связано со сложностью конструкции разрабатываемых изделий и деталей. Повторное перестроение 3D-модели или переопределение геометрических элементов, баз, размерных цепей требует значительного дополнительного времени на оформление электронной конструкторской документации. В [4] говорится, что создавать цифровой двойник имеет смысл, если понятно, как его использовать, и если он будет генерировать ценности, а не просто увеличит затраты. В то же время конструкторы не стремятся создавать 3D-модели, которые будут использовать технологи, т.к. «при работе в единой информационной среде уровень ответственности исполнителей меняется, они понимают, что введенная ими информация будет использоваться без изменений и преобразований во всех подразделениях» [3]. В настоящее время задачей конструкторов является выпуск конструкторской документации, в которой 3D-модель еще не заняла главного места.

Во-вторых, при использовании методов нисходящего проектирования, а это основной метод построения 3D-моделей деталей и сборочных единиц при проектировании новых изделий, в 3D-моделях деталей отсутствует часть размеров с предельными отклонениями,

так как размеры находятся в отдельной 3D-модели с управляющей геометрией. Этот недостаток метода построения можно нивелировать созданием в 3D-модели детали размеров с предельными отклонениями, и связав их уравнениями с управляющей геометрией, что требует от конструкторов дополнительного времени.

Технолог может использовать конструкторскую 3D-модель, не полностью соответствующую требованиям. Для этого ему придется доработать предоставленную 3D-модель. В современных САПР существуют инструменты прямого моделирования, позволяющие создавать размеры на необходимых геометрических элементах от требуемых баз без изменения топологии 3D-модели. Такой подход требует от технолога дополнительного времени на поиск несоответствий в 3D-модели и чертеже и на доработку модели. В таком случае бывает быстрее создать 3D-модель заново по чертежу, чем исправлять имеющуюся.

Заключение. В [7] отмечается, что «эффективность технологической подготовки машиностроительного производства, основанного на широком использовании станков с ЧПУ и другого цифрового оборудования, в значительной мере связана с возможностью организовать слаженную совместную работу технологических и производственных подразделений». В то же время, как было показано, не менее важной является совместная работа конструкторских и технологических подразделений в части подготовки и использования информации. Для практического воплощения существует техническое решение в виде системы сквозного проектирования, подготовлено нормативное обеспечение, существуют средства контроля за качеством 3D-моделей, обеспечивающие соответствием 3D-моделей и чертежей. Осталось самое главное – должно измениться отношение к 3D-модели, она должна стать из вспомогательного документа основным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.М., Кожевников Н.О., Ульянин О.В., Кондратьев С.Е., Козачок В.К. Методология создания интегрированной информационной системы управления инженерными данными в условиях совместного использования конструкторской документации в бумажной и электронной формах // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. №3. С. 47–55.
2. Абакумов Е.М., Ульянин О.В., Козырев Д.Б., Козачок В.К. Создание интегрированной системы разработки сложных наукоёмких изделий предприятия приборостроительного профиля // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. №4. С. 10–17.
3. Бабушкин Б. Информация как основа цифрового производства // Умное производство. 2018. №42. Режим доступа: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=899&group_id_4=117&m_id_4=44 (дата обращения 23.04.2019).
4. Бакарджиева С. Карл Ости: «Цифровой двойник – это часть экосистемы предприятий» // Умное производство. Электрон. журн. 2018. №43. Режим доступа: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=925&group_id_4=24&m_id_4=45 (дата обращения 23.04.2019).
5. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд. 2-е, испр. М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит. 1987. 552 с.

6. ГОСТ 2.051-2013 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения. – Взамен ГОСТ 2.051-2006; введ. 2014-06-01. М.: Стандартинформ. 2014. 10 с.
 7. Зарубин С. Система управления технологической информацией как интеграционная среда работы технолога-программиста оборудования с ЧПУ // САПР и Графика. 2019. №5. С. 30–31.
 8. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделий машиностроения: проблемы и решения / Л. В. Губич и др. 2-е изд., испр. и доп. Минск: Издательский дом «Белорусская наука». 2010. 286 с.
 9. Козырев Д.Б., Абакумов Е.М. Вопросы создания электронной конструкторской документации при комплексном использовании САПР Creo Parametric и PDM-системы Windchill // Информационные технологии и системы: тр. Третьей междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. – 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014): науч. электр. изд. (1 файл 9,9 Мб) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. 1 опт. диск. С. 100–102.
 10. Синельников А.В., Бачурин А.В. Особенности интеграции PDM-системы с CAD-системами // Труды XVII международной научно-практической конференции “ Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2017)”. Под ред. А.В. Толока. М.: Институт проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН. 2017. С. 398–401.
-

UDK 004.622

FEATURES OF PRACTICAL USE OF INFORMATION IN THE SYSTEM THROUGH THE DESIGN AT THE STAGE OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION

Denis B. Kozyrev

Deputy chief of department,

Dukhov Research Institute of Automatics (VNIIA),

22, Sushevskaya Str., 127055, Moscow, Russia, e-mail: Kozirev@vniia.ru

Abstract. The paper presents the use of design information in the development of control programs for machines with numerical control. The presented scheme is a standard use of engineering 3D models and drawing in the system through the design, requirements on electronic design documentation. The features of practical creation and use of 3D-models are considered.

Keywords: the system through the design, electronic design documentation, 3D model, technological model, numerical control.

References

1. Abakumov E.M., Kozhevnikov N.O., Ulianin O.V., Kondratiev S.E., Kozachok V.K. Metodologiya sozdaniya integrirovannoy informacionnoy sistemy upravleniya inzhenernymi dannymi v usloviyah sovmestnogo ispolzovaniya konstruktorskoj dokumentacii v bumazhnoy i

- elektronnoy formah [Methodology of creation of integrated information system of engineering data management in the conditions of joint use of design documentation in paper and electronic forms] // *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve = Information technology of CAD/CAM/CAE*. 2015. №3. Pp. 47–55. (in Russian)
2. Abakumov E.M., Ulianin O.V., Kozyrev D.B., Kozachok V.K. Sozdanie integrirovannoy sistemy razrabotki slozhnyh naukoemkih izdeliy predpriyatiya priborostroitel'nogo profilya [Creation of the integrated system of development of difficult knowledge-intensive products of the enterprise of an instrument-making profile] // *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve = Information technology of CAD/CAM/CAE*. 2014. №4. Pp. 10–17. (in Russian)
 3. Babushkin B. Informatsiya kak osnova cifrovogo proizvodstva [Information as basis of digital production] // *Umnoe proizvodstvo = Intelligent manufacturing Journal*. 2018. №42. Available at: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=899&group_id_4=117&m_id_4=44 (accessed 23.04.2019). (in Russian)
 4. Bakardzhieva S. Karl Osti “Cifrovoy dvoynik – ehto chast ehkosistemy predpriyatiy” [Karl Osti “The digital double is a part of an ecosystem of the enterprises”] // *Umnoe proizvodstvo = Intelligent manufacturing Journal*. 2018. №43. Available at: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=925&group_id_4=24&m_id_4=45 (accessed 23.04.2019) (in Russian)
 5. Glushkov V.M. Osnovy bezbumazhnoy informatiki [Foundation of paperless informatics]. Moscow. Nauka = Science. 1987. 552 p. (in Russian)
 6. GOST 2.051-2013 Yedinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii. Ehlektronnye dokumenty. Obschie polozheniya. – Vzamen GOST 2.051-2006; vved. 2014-06-01. [GOST 2.051-2013 Unified system for design documentation. Digital documents. General principles - Instead of GOST 2.051-2006; enter 2014-06-01]. Moscow. Standartinform. 2014. 10 p. (in Russian)
 7. Zarubin S. Sistema upravleniya tehnologicheskoy informatsiey kak integratsionnaya sreda raboty tehnologa-programmista oborudovaniya s CHPU [Control system of technological information as integration environment of work of the technologist-programmer of the CNC equipment] // *SAPR i Grafika = CAD and Graphics*. 2019. №5. Pp. 30–31. (in Russian)
 8. Informacionnye tehnologii podderzhki zhiznennogo tsikla izdeliy mashinostroeniya: problemy i resheniya [Information technologies to support the life cycle of engineering products: problems and solutions] / L.V. Gubich and others. Minsk. Izdatel'skiy dom «Belorusskaya nauka» = Publishing House «Belarusian Science». 2010. 286 p. (in Russian)
 9. Kozyrev D.B., Abakumov E.M. Voprosy sozdaniya ehlektronnoy konstruktorskoy dokumentatsii pri kompleksnom ispolzovanii SAPR Creo Parametric i PDM-sistemy Windchill [Questions of creation of electronic design documentation at complex use of CAD Creo Parametric and PDM Windchill] // *Informacionne tehnologii i sistemy: tr. Tret'ey mezhdunar. nauch. konf., Bannoe, Rossiya, 26 fevr. – 2 marta 2014 g. (ITiS – 2014) = Proceedings of the 3th International Scientific Conference "Information Technologies and Systems" (ITiS – 2014)*. Chelyabinsk. Izd-vo Chelyab. gos. Un-ta = Chelyabinsk State University. Pp. 100–102. (in Russian)
 10. Sinelnikov A.V., Bachurin A.V. Osobennosti integratsii PDM-sistemy s CAD-sistemami [Features of PDM integration with CAD] // *Trudy XVII mezhdunarodnoy nauchno-*

prakticheskoy konferentsii “Sistemy proyektirovaniya, tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva i upravleniya etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta“ (CAD/CAM/PDM - 2017). Pod red. A.V. Toloka = Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference “Systems for the Design, Technological Preparation of Production and Management of the Life Cycle Steps of an Industrial Product” (CAD / CAM / PDM - 2017). Ed. A.V. Toloka. Moscow. Institut problem upr. im. V.A. Trapeznikova RAN = V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences. Pp. 398–401. (in Russian)